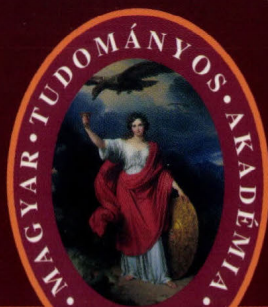


AKADÉMIAI MŰHELY

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK

1998



1825

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK, 1998

I. kötet

AKADÉMIAI MŰHELY

Közgyűlési előadások

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Beck Mihály, Glatz Ferenc (elnök), Hámori József, Ritoók Zsigmond

Közügyűlési előadások

1998

I. kötet

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
Budapest, 1999

Szerkesztő
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő
Pótó János

ISBN 963 508 155 3 Ö
ISBN 963 508 1571 X
ISSN 1585–1915

Kiadja
a Magyar Tudományos Akadémia
Kiadásért felel: Szabó B. István
Kiadói szerkesztő: Burucs Kornélia
Nyomdai előkészítés: AbiPrint Nyomdai Szolgáltató Bt.
Nyomdai munkálatok: AKAPRINT Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: Freier László ügyvezető igazgató
Készült 22,125 B/5 nyomdai ívben, 1100 példányban

Tartalom

I. kötet

| | |
|---|----|
| Rendszeresség a szervezetben, új látásmód a gondolkodásban Előszó helyett (Glatz Ferenc) | 11 |
|---|----|

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁS

| | |
|---|----|
| KOSÁRY DOMOKOS: Európa és Magyarország 1848-ban | 15 |
|---|----|

NYELV- ÉS IRODALOMTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Petőfi-emlékülés

| | |
|--|----|
| MARGÓCSY ISTVÁN: Petőfi dilemmái | 27 |
| ZENTAI MÁRIA: Az epikus Petőfi | 39 |
| KÖPECZI BÉLA: A franciák Petőfije | 57 |
| SZATHMÁRI ISTVÁN: Petőfi nyelvi hatása | 63 |

FILOZÓFIAI ÉS TÖRTÉNETTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

„Zengjék vissza az időnek bércei, a századok”

(150 év mérlegén: 1848–49-es forradalom és szabadságharc)

| | |
|---|----|
| GERGELY ANDRÁS: Sikeres vagy sikertelen 1848-as forradalmak? | 79 |
| SZÁSZ ZOLTÁN: A nemzetiségek és az 1848-as magyar forradalom | 87 |
| HERMANN RÓBERT: Eredmények és feladatok 1848–1849. hadtörténetének kutatásában | 97 |

MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Konvex és kombinatorikus geometria

| | |
|--|-----|
| BÁRÁNY IMRE: Sylvester egy problémájáról | 111 |
| BEZDEK ANDRÁS: Egybevágó testek elhelyezésének sűrűségéről | 117 |
| IFJ. MAKAI ENDRE: Konvex testekhez hozzárendelt testek | 127 |
| PACH JÁNOS: Sík mezőben hármas út | 131 |

AGRÁRTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA
Élelmiszer-biztonság – kihívások – megoldások

| | |
|--|-----|
| NAGY BÉLA, SZMOLLÉNY GÁBOR, KOVÁCS SÁNDOR, BITAY ZOLTÁN: Salmonellák és salmonellosisok mint megújuló kihívások | 141 |
| FÜZI MIKLÓS: A BSE és a prion-betegség egyéb formáinak etiológiája és közegészségügyi megítélése | 149 |
| RAFAI PÁL: A mikotoxinok hazai előfordulása, a károk csökkentésének lehetőségei | 155 |
| FAZEKAS BÉLA: Fumonizin toxinok hazai előfordulása, állat- és humán-egészségügyi vonatkozásai I. | 163 |
| ZOMBORSZKYNÉ KOVÁCS MELINDA: Fumonizin toxinok hazai előfordulása, állat- és humán-egészségügyi vonatkozásai II. | 167 |
| BANCZEROWSKI JANUSZNÉ, VILÁGI ILDIKÓ, DÉTÁRI LÁSZLÓ, DÓCZI JUDIT, KUKORELLI TIBOR: Mikotoxinok az élelmiszerekben. Toxikus hatások, idegrendszeri változások biomonitorozása | 173 |
| KIRÁLY ZOLTÁN: A mezőgazdaság kemizálása és az élelmiszer-biztonság | 181 |

**AZ ORVOSI TUDOMÁNYOK
ÉS A BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
együttes ülése**

*Az orvostudományi egyetemeken működő támogatott kutatócsoportok
újabb eredményei*

| | |
|---|-----|
| KOSZTOLÁNYI GYÖRGY, MÉHES KÁROLY: Genom-instabilitás és emberi patológia | 193 |
| DE CHÂTEL RUDOLF: Új endogén diuretikus anyagok szerepe a keringés szabályozásában ép és kóros körülmények között | 197 |
| ROMICS LÁSZLÓ, KARÁDI ISTVÁN, CSÁSZÁR ALBERT, PROHÁSZKA ZOLTÁN, FÜST GYÖRGY: Az atherosclerosis keletkezésében szerepet játszó genetikai és immunológiai faktorok vizsgálata | 203 |
| NÁSZ ISTVÁN, ÁDÁM ÉVA, LENGYEL ANNA, DOBAY ORSOLYA, JENEY CSABA: Az adenovírus-kutatás új irányai | 213 |
| GERGELY LAJOS: Papilloma- és herpeszvírusok az emberi daganatokban | 225 |
| SZENDE BÉLA: A sejt szaporodás és a sejthalál szabályozását meghatározó tényezők a malignus daganatokban | 231 |
| BIRÓ SÁNDOR, SIPICZKI MÁTYÁS: Molekuláris genetikai kutatások a DOTE-MTA Mikrobiális Fejlődésgenetikai Kutatócsoportnál | 241 |

| | |
|---|-----|
| VEREB GYÖRGY, JENEI ATTILA, DAMJANOVICH SÁNDOR: | |
| Sejtfelszíni receptorstruktúrák láthatóvá tétele élő sejteken | 251 |
| SPÄT ANDRÁS: A kálium ion sejtaktiváló hatásának mechanizmusa | 265 |
| ÁDÁM VERONIKA, TRETTER LÁSZLÓ, CHRISTOS CHINOPOULOS: | |
| A központi idegrendszeri neuronok funkciózavarai oxidatív stresszben | 271 |
| SOMOGYI BÉLA: A POTE Biofizikai Intézetében működő tanszéki munkacsoport munkája (1996–1998) | 279 |
| SÉTÁLÓ GYÖRGY: Neuropeptiderg rendszerek és neuropeptid analógok szerkezet-hatás kutatása | 287 |
| HALÁSZ BÉLA: Észleleteink a septum és a hypothalamus felépítéséről és a gonádok agyi kapcsolatairól | 293 |
| TÓTH IDA E., PALKOVITS MIKLÓS: Idegpályák feltérképezése vírusok segítségével | 297 |
| TELEGDY GYULA: A nitrogén-monoxid szerepe a tanulási és memóriafolyamatok szerveződésében | 301 |
| KNOLL JÓZSEF: A deprenyl-kutatás új eredményei | 305 |
| SZOLCSÁNYI JÁNOS: Capsaicin és a nociceptív primer afferens neuronok farmakológiája | 311 |
| TRÓN LAJOS: Funkcionális agyi vizsgálatok pozitronemissziós tomográfiával | 317 |

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Jendrassik György (1898–1954) emlékülés

| | |
|---|-----|
| TERPLÁN ZÉNÓ: A Jendrassik-életpálya | 329 |
| CZIBERE TIBOR: A Ganz–Jendrassik-motorok jelentősége | 335 |
| GYARMATHY GYÖRGY: A Jendrassik-gázturbina és -nyomáscserélő | 345 |

II. kötet

A MŰSZAKI, A MATEMATIKAI, AZ ORVOSI, A KÉMIAI, A GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK VALAMINT A FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK együttes ülése

A modern élet kockázatai, a kockázat csökkentésének és elhárításának lehetőségei

| | |
|--|-----|
| SZABADVÁRY FERENC: Kis történeti áttekintés a környezeti ártalmakról | 377 |
| MARX GYÖRGY: Születni veszélyes | 383 |

| | |
|--|-----|
| VAJDA GYÖRGY: A villamosenergia-ellátás társadalmi kockázata | 405 |
| SZÉKÁCS ANDRÁS: A növényvédő szerek mint a modern élet kockázati tényezői | 417 |
| BESZNYÁK ISTVÁN: Műteti kockázatok | 431 |
| BORVENDÉG JÁNOS: A gyógyszerfogyasztás kockázatai | 437 |
| BÉNYEI ANDRÁS: Közlekedési kockázatok | 443 |
| ZSUFFA ISTVÁN: Árvizek okozta kockázatok | 451 |
| DULÁCSKA ENDRE: Tartószerkezetek, földrengéskockázat | 461 |
| MAGYAR JÓZSEF: Gépészeti rendszerek kockázatai | 473 |
| MÁLYUSZ KÁROLY, TUSNÁDY GÁBOR: A kockázatok matematikai kezelése | 485 |
| LAMM VANDA: A nukleáris energia hasznosításával kapcsolatos kockázatok és a jog | 493 |

BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózat

| | |
|--|-----|
| A Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózat Összefoglalta: BORHIDI ATTILA | 503 |
|--|-----|

GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A magyar társadalomtudományok válasza a századvég kihívásaira

| | |
|--|-----|
| SIMAI MIHÁLY: A globalizáció és a társadalomtudományok | 521 |
| KULCSÁR KÁLMÁN: Az euro-atlanti integráció mint politikai probléma | 537 |
| ENYEDI GYÖRGY: A regionális és a városfejlődés kihívásai | 547 |
| SZABÓ ANDRÁS: Társadalmi zavarok, devianciák, erőszak, bűnözés és a társadalomtudományok válaszai | 557 |

FÖLDTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A Föld fejlődése és dinamikája

| | |
|---|-----|
| MÉSZÁROS ERNŐ: A különleges bolygó: a Föld | 569 |
| MESKÓ ATTILA: Áramlások a köpenyben és a magban: néhány következmény | 575 |
| BÁRDOSSY GYÖRGY: Hegységképződés és lemeztektonika | 581 |
| CZELNAI RUDOLF: Légkör-óceán kölcsönhatások (El Niño) | 595 |

| | |
|---|-----|
| GÖTZ GUSZTÁV: A légkör dinamikája: rend és káosz | 601 |
| ÁDÁM JÓZSEF: A Föld dinamikai jelenségeinek vizsgálata korszerű kozmosz geodéziai mérés technikák alkalmazásával | 609 |
| GÉCZY BARNABÁS: Az élővilág fejlődésének nagy eseménye: a levegő meghódítása | 631 |

FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A fizikai fejlődés irányai

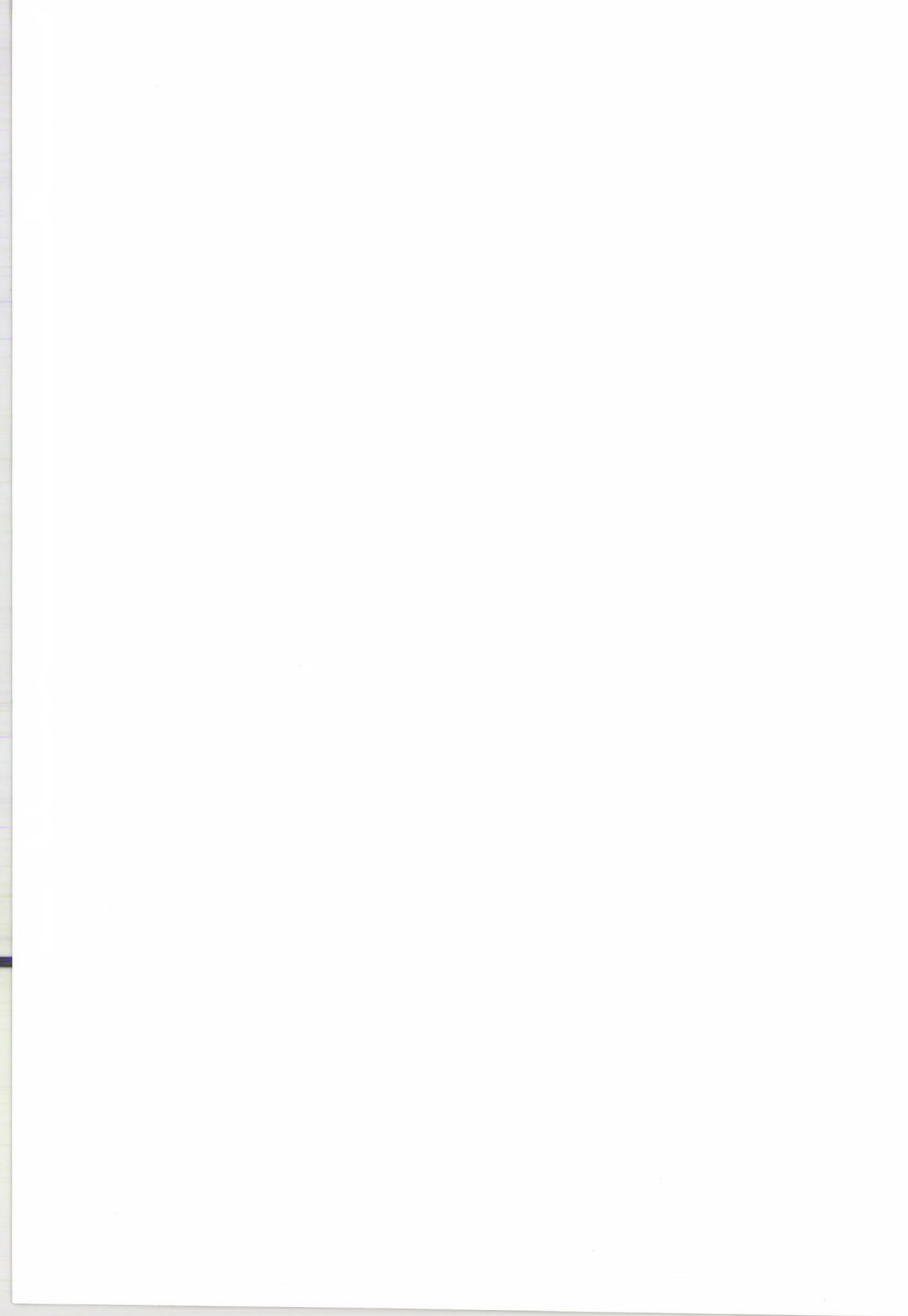
| | |
|---|-----|
| BIRÓ TAMÁS SÁNDOR: A kvarkanyag hadronizációja | 641 |
| SOMORJAI ENDRE: Protonban gazdag magok szintézise az univerzumban | 649 |
| RONTO GYÖRGYI: Ultraibolya (UV) dozimetria és űrbiológia | 653 |

A lézerfizika újabb eredményei

| | |
|---|-----|
| VARRÓ SÁNDOR, FARKAS GYŐZŐ: Diszkrét szerkezetű elektron- és fény spektrumok megjelenése szuperintenzív lézerekben | 661 |
| KÖRMENDI FERENC, FARKAS GYŐZŐ: Multi-GeV-os lézergyorsítók és TW/cm ² -es röntgenlézerek | 669 |
| JANSZKY JÓZSEF, KONIORCZYK MÁTYÁS, KIS ZSOLT: Kvantumteleportáció | 673 |
| BAKOS JÓZSEF: Atomok hűtése lézerrel | 683 |
| SZÖRÉNYI TAMÁS: Lézerek mikroelektronikai alkalmazása | 695 |

Szilárdtestkutatás – 1998

| | |
|--|-----|
| JÁNOSSY ANDRÁS: Antiferromágneses domének YBa ₂ Cu ₃ O _{6+x} rendszerben | 709 |
| KOLLÁR JÁNOS: Szilárd testek stabilitásának „ab initio” számítása | 711 |
| BORTEL GÁBOR, FAIGEL GYULA, OSZLÁNYI GÁBOR, PEKKER SÁNDOR, TEGZE MIKLÓS: „Nobel-díjas molekulák” polimerei | 713 |
| GROMA ISTVÁN, BAKÓ BOTOND, BALOGH PÉTER: Sztohasztikus diszlokáció-dinamika | 715 |
| MENYHÁRD MIKLÓS: Kis energiájú ionbombázás által indukált változások a felület közelében | 717 |



Rendszeresség a szervezetben, új látásmód a gondolkodásban

Új szintézisre van szükség a kutatói gondolkodásban. Ezen igény magából a tudomány fejlődéséből, a kutatói felfedezésekből és azok gyakorlati alkalmazásából ered.

A kutatói elme mind mélyebbre hatolt be az anyagba: a fizikusok, majd a kémikusok előbb a természetről, a világról való gondolkodásunkat változtatták meg alapvetően, majd az utóbbi fél évszázadban az ipari–technikai forradalmak hullámainak sorát indították el. Nemcsak az ipari és az élelemtermelést lendítették előre, új technológiákat hozva évről évre üzemeinkbe, hanem – társulva mindnyájunk gondolkodási alaptudományával, a matematikával – útjára indították az információs forradalmat, az emberi érintkezéskultúra ma még beláthatatlan jövőhöz vezető értékrendváltását is. És ma még le nem írt változásokat idéztek elő a szerszámkészítő és -használó, a környezetét és ezzel önmagát is alakító napi emberi tevékenységben.

Azután a biológiai forradalom sokkolt bennünket. Ugyanazon korosztályt, amelyik először kényszerült számolni a világról alkotott képében az Univerzummal, az atommal, majd az ember évezredes álmának megvalósulásával, a mesterseges anyaggal. A gének világának, az ideg- és agyműködésnek feltárulkozása, ugyanakkor az élő környezet rendszerben szemlélése nemcsak az ún. élettudományok követhetetlen sebességű fejlődését hozta magával, de immáron az emberi nem létének, jövőjének alapkérdéseit feszegeti. Etikai nagyságrendű kérdéseket...

No és a társadalomkutatás? Amelynek vizsgálnia kell, hogyan hat ki e technikai–élettani gondolkodás robbanása magára az emberre. Vajon hol tartunk mi? Ismerjük-e egyáltalán a század épített és természeti környezetének vagy a közember életcéljainak átalakulását? Képesek vagyunk-e együttgondolkodni kutatótársainkkal, akik csodagépeket, csodafegyvereket alkotnak, újrateremtik, átformálják a talajt, vizet, levegőt, állat- és növényvilágot, felszámolják az emberi kórokat? Együttgondolkodunk-e velük, hogy ne álljanak metahumánus célok szolgálatába... Hogy teremtményeink emberi célokat szolgáljon...

Együttgondolkodásra, a hagyományos diszciplínakeretek feltörésére, új szintézisre kényszerít bennünket tehát magának a tudománynak a fejlődése. És e fejlődés következményei.

Akadémiánkról

A magyarságnak történelmi szerencséje, hogy van olyan tudományszervezete, amely otthont, szervezeti kereteket adhat ezen új, szintetizáló látásmód kialakulásának. Noha a Magyar Tudományos Akadémiát elsősorban a magyar nyelvet fejlesztő intézményként alapították, de másfél évszázad alatt a Magyarországon művelt valamennyi tudományt magába fogadta.

A mai kutatónemzedékek nagy mulasztása volna, ha nem használná Akadémiánkat arra, hogy erősítse az új, szintetizáló gondolkodást. Hiszen mi más a tudományos szervezetek célja, mint hogy segítsék magát a kutatói tevékenységet?

Ezért is határozott úgy az Akadémia vezetése, hogy mindent elkövet a falainkon belül élő különböző tudományok párbeszédéért. Mindenki számára legyen hozzáférhető a mások gondolkodásának terméke...

Székfoglalóink, közgyűlési előadásaink a magunk lényegét adják: témakereséseinket, módszertani útkereséseinket. Hol leírjuk ezen előadásokat, hol nem, eddig gyakran hozzáférhetővé sem tettük azokat tagtársaink számára. Legjobb esetben is csak szűkebb szaktársaink ismerték gondolatainkat. Szakítsunk e rossz hagyománnyal!

Akadémiai Műhely

1997-ben az Akadémia vezetése úgy döntött, hogy könyvsorozatot indít *Akadémiai Műhely* címmel, amelynek feladata, hogy segítse Akadémiánk működésének rendszerességét és egyben szervezze is az akadémiai fórumokat. Legyen a rendszeresség megteremtésének eszköze. El akarjuk érni, hogy az akadémiai székfoglalókat minden esetben írásban is készítsék el tagtársaink, ezért jelentetjük meg azokat 1998-tól rendszeresen (*Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*). Erősíteni akarjuk a tudótestület tradícióit, mint bennünket összetartó erőt és a tudományban a folyamatosság fontosságára figyelmeztető tényezőt. Ezért újjítottuk fel az 1949-ben megszakadt emlékbeszédek hagyományát az Akadémia elhunyt tagjairól. Gondoskodni kívánunk ezek kiadásáról (*Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett*). Közreadjuk ezután a közgyűlések alkalmából elhangzott tudományos előadások szövegét (*Közgyűlési előadások*). És ezek mellett megindítjuk az Akadémia történelmében valahogy mindig elmaradt évkönyvsorozatot (*A Magyar Tudo-*

mányos Akadémia évkönyve), és rendszeresen megjelentetjük az 1991-ben megszakadt, majd 1997-ben újraindított akadémiai almanachsorozatot. (*A Magyar Tudományos Akadémia almanachja*).

Az „akadémiai nagyhét” folyamatosan megőrizte az elmúlt évtizedekben az eredeti célkitűzést: május első hete a közgyűlés és a hozzákapcsolódó tudományos osztályrendezvények ideje. Az Akadémia tudományszervezeti problémáival foglalkozik az „összes ülés”, és ezt követően az egyes osztályok rendezik meg tudományos konferenciájukat. Ezt a hagyományt szeretnénk most továbbfejleszteni: az eddig esetlegesen megjelentetett vagy elkallódott – sok esetben le sem írt – előadások szövegeit kötetbe szerkesztve jelentetjük meg.

És mi e rendszeresség megteremtésének célja – kérdeztük az 1997. decemberi közgyűlésen. Előlegezett válaszuk: az új, szintetizáló látásmód erősítése a kutatói gyakorlatban. Mint ahogy a tudományszervezet célja csakis a tudományos megismerés segítése lehet.

1999. április

Glatz Ferenc

KOSÁRY DOMOKOS

Európa és Magyarország 1848-ban

(Az 1998. májusi közgyűlés ünnepi előadása)

Egy angol történész, akinek talán azért érdemes olvasni írásait, mert azonnal ellenkezésre, vitára ingerelnek, nemrég azzal állt elő, hogy európai kultúráról, így egyes számban, nem beszélhetünk, hiszen kontinensünket mindig, minden téren, nagy sokféleség jellemezte. Szerinte az a közös kultúra, amelynek megnyilvánulásait a történészek próbálják a múltban felfedezni, olyan önkényes fogalom csupán, amelyet azok próbálnak visszavetíteni a korábbi századokba, akik napjainkban az európai integráció politikai programját kívánják ezzel is igazolni.

E posztmodern-ízű okoskodás persze nem sok sikerre számíthat azok között, akik tudják a történelemből, hogy a sokféleség, a nagyobb egészen belül, éppen Európa fő sajátosságai közé tartozott. A külföldi és hazai források egész sorát idézhetnénk annak bemutatására, hogy ennek és a közös európai kultúra megletének, ilyen értelemben, a benne élők tudatában voltak a jóval korábbi századokban is.

Európa fő sajátosságai közé tartozott az is, hogy a társadalom egykori, kiváltságokra épült rendszerét, amelyet hagyományosan feudálisnak szoktunk nevezni, spontán fejlődés útján itt váltotta fel polgári rendszer a gazdaságban, politikai berendezésben s a művelődésben egyaránt. S ez – úgy látszik – innen terjedt szét azután, expanzió útján, a nagyvilágban.

Európa, tudjuk, maga is különböző, eltérő fejlettségi szintű zónák együtteséből állt. Így a polgári jellegű átalakulás is hosszú történelmi folyamat eredménye volt, rendszerint forradalmak és háborús konfliktusok kíséretében. E folyamat nyugaton, az epicentrum fejlettebb társadalmaiban indult: Hollandiában és a 17. századi Angliában. A 18. század végén Franciaországban folytatódott, nagy visszhangot keltő, különösen drámai események között, amelyeket azonban ma már inkább egy helyi, egyedi változat, és nem egy általános érvényű modell velejáróinak tekintünk. A múlt század derekán ért azután e folyamat Közép-Európa keleti zónájáig. Meghozta úgy, hogy az élén, kezdeményezőként, Magyarország haladt. A lengyelek ugyanis, miután elvérezték egy korábbi – még nem polgári

jellegű – felkelésben, komoly akcióra ekkor nem voltak képesek, bár emigránsaik, utóbb, segítségünkre jöttek. A csehek erőtlenségük prágai próbálkozását rövid úton szétverte az osztrák katonaság. A románok új politikai gárdája Bukarestben megkísérelt forradalmat indítani, de azt az orosz és török hatalom elnyomta, mielőtt valódi eredményeket érhetett volna el. A magyar politikai elitnek viszont már előbb, március–áprilisban sikerült országát e nagy változáson átvezetnie.

Ennek az európai jelentőségű fordulatnak szeretném itt néhány nemzetközi érdekű történeti tanulságát, emlékezésül, 150. évfordulója alkalmából, röviden elmondani.

Az első mindjárt az, hogy Magyarország, bármennyire felkészült is a változásra, azt csak bizonyos külső, nemzetközi feltételek bekövetkezése esetén volt képes végrehajtani. Ehhez annak az 1815 óta fennálló európai hatalmi rendszernek kellett válságba jutnia, amely Metternich nevével fémjelezhető. A harmincas évek közepétől kezdve kialakult egy nemesi vezetésű magyar reformmozgalom. Egyre több kiváltságos ismerte fel, hogy a régi rendszer tarthatatlan, káros és veszélyes, hogy a nyugati országok példái nyomán át kell térni a polgári berendezkedésre, és érdekegyesítés útján valódi nemzetet kell teremteni. Közben egy olyan kitűnő, európai látókörű, sokoldalú politikai elit lépett a színre, amely az országgyűlés és megyei viták küzdőterén komoly politikai gyakorlatot szerzett, és felkészült arra, hogy a nagy változást végrehajtsa. Ezt azonban a Habsburg-hatalomnak alárendelt Magyarországon csak akkor tehette meg, amikor az 1848. februári francia forradalom és az általa kiváltott nemzetközi forradalmi láncreakció szinte napok alatt felborította Európa addigi hatalmi rendszerét. Amikor a francia robbanás után, március 13-án Bécsben Metternich megbukott, ezt mindjárt követte egy sor további megmozdulás.

Magyarországon két ütemben és két politikai központban ment végbe a fordulat. Az egyik a rendi országgyűlés volt Pozsonyban, ahol az első lépést, a francia forradalom közvetlen hatására, március 3-án az ellenzék vezére, Kossuth tette meg felirati javaslatával. Ebben egyrészt alkotmányt követelt Ausztriának is – amivel nagy lökést adott a bécsi forradalomnak –, másrészt pedig azt kívánta, hogy azonnal vigyék keresztül az addig már elfogadott reformokat. Tehát még nem a teljes reformot (mint olykor feltételezik). A felirat elakadt a felső táblán. A bukófélben lévő régi rendszer vezetői ugyanis – már akkor – az orosz beavatkozással fenyegetőztek. A március 13-i bécsi forradalom után viszont már nem volt akadálya annak, hogy március 14-én és 15-én, utólag, a feliratot átértelmezzék, illetve a még hiányzó részekkel kiegészítsék, teljessé tegyék. Pesten pedig, mint tudjuk, az ifjú radikálisok, élükön Petőfivel, a cenzúra eltörlése, a nevezetes 12 pont kihirdetése útján, ugyancsak március 15-én, forradalmi úton fogadtatták el új programjukat.

Az 1848 áprilisában szentesített új törvények félreérthetetlenül jelezték, hogy Magyarország, a forradalom eredményeként, átlépett a döntő határvonalon. Megszületett Batthyány Lajos elnökletével az első felelős magyar kormány, amelyről éppen az újabb kutatások mutatták ki, hogy stabilitásban, céltudatosságban más, egykorú új kormányoktól, amelyek szintén a forradalomból szület-

tek, előnyösen különbözött. Az első lépést tehát a magyar politika eredményesen tette meg, felhasználva a történelmi alkalmat, a nemzetközi erőviszonyok kedvező változását. Ezért nagy tévedés lehangoltan azt emlegetni, hogy a magyar forradalom elbukott. A valóságban a polgári forradalom győztes maradt, a feudalizmus nem állt vissza. A polgári rendszer alapvetése, a jobbágyfelszabadítás, történelmünknek nem a bukásai, hanem nagy pozitívumai közé tartozik. Utóbb a szabadságharc valóban elbukott. De a forradalom és a szabadságharc, bár egymáshoz szorosan kapcsolódtak, mégsem azonos fogalmak. Franciaország is elbukott a forradalmat követő háborúban. Az olaszok nemzeti mozgalmára 1848-ban, majd 1849-ben két alkalommal is döntő csapást mért Radetzky armádiája, a kisebb mozgalmak szomorú sorsáról nem is beszélve. A legnagyobb ígéret, a magyar mozgalom fő reménye, a német nemzeti egység sem volt képes akkor valóra válni, és a széttagolt, helyi német forradalmakat maguk a német fegyverek taposták vérbe, porosz vezetés alatt. A magyar szabadságharc ennél jobbat és többet produkált, bukása ellenére, amelyet külső, orosz beavatkozás tett elkerülhetlenné. Valamiféle demoralizáló, kiforgatott hivalkodás volna tehát olyasmit emlegetnünk, hogy úgylis hiába, a sors mindig csak minket üldöz. Ily egyszerűen sem az akkori, sem a későbbi nemzedékek nem tudják tetteikért vagy mulasztásaikért a felelősséget magukról elhárítani.

Második tanulságunk az, hogy Magyarország a nemzetközi erőviszonyok újabb módosulása következtében került úgy szembe Ausztriával, hogy szeptemberben választania kellett a meghódolás és az önvédelmi harc között.

A februári francia forradalmat az idézte elő, hogy a politikai vezetés nem tudta kezelni azokat a polgári rendszer e szakaszára jellemző, új típusú feszültségeket a különböző polgári rétegek, illetve az új munkásosztály között, amelyeket a robbanásig kiélezett egy régi típusú agrártermelési, élelmezési válság. A feszültség Angliában is jelentkezett, de ott nem jutott el a forradalomig, mert a gabonavám eltörlésével olcsóbb lett a kenyér, és a polgárok egy része már bekerült a hatalom gépezetébe. A francia vezetés viszont magával szemben egyesített minden elégedetlen erőt. Így aztán jött a forradalom, amely egy négyszakaszos modellben ábrázolható. Az első szakaszban az ellenzéki erők, együtt, sikerrel megdöntik a kormányzatot. A másodikban a közös front felbomlik, a liberálisok kiválnak, és szembefordulnak a radikálisokkal és a szociális köztársaság híveivel. A harmadikban a munkásság, a baloldal felkeléssel próbálja e folyamatot megfordítani, de 1848 júniusában véresen leverik. Végül a negyedik szakaszban az autokrácia újra uralomra jut, és a liberálisokat is félretolja. Az év végén Louis Bonaparte – az eljövendő III. Napóleon császár – lett a köztársaság elnöke. E folyamatban része volt az angol politikának is, amely kezdettől fogva fékezte a francia radikális és forradalmi törekvéseket. Jött a fordított irányú láncreakció. Egyik hátrálás hozta a másikat.

Hasonló folyamat figyelhető meg ugyanígy az olasz és a német államok politikai viszonyainak alakulásában is. E társadalmak lassabban fejlődtek, mint a francia, a belső ellentétek nem éleződtek ki annyira, de a liberális nemesi-polgári vezetők szeme előtt ott volt a francia példa, a forradalmárok pedig nem kapták

meg Franciaországtól azt a segítséget, amelyet reméltek. Jellemző, hogy a piemonti szárd köztársaság, amely az olasz nemzeti mozgalom előőrseként, megtámadta az osztrákokat, azért nem akart segítséget kérni a franciáktól, mert – egykorú diplomáciai jelentés szerint – jobban félt a francia forradalom hatásától, mint az osztrák hadseregtől. Így azután július végén Radetzkytől vereséget is szenvedett. Ausztria helyzete megszilárdult. Az udvar elérkezettnek látta a pillanatot arra, hogy Magyarországtól az 1848-as törvények által biztosított önállóságának feladását követelje. E törvények egyébként az Ausztriát és Magyarországot „közösén” érdeklő ügyeket, kissé homályos megfogalmazásban, egy „király személye körüli” miniszterre bízták. Ezt mindkét fél saját reményei szerint tervezte módosítani. A magyar vezetés a pusztá perszonaluniót szerette volna elérni, amire azért is reménye volt, mivel a német egység, ha megvalósul, magában foglalta volna Ausztriát, s így a kívül maradó Magyarország hozzá csak a közös uralkodó személyén át kapcsolódhatott. A nemzetközi viszonyok alakulása azonban Ausztriának kedvezett, amely kezdettől fogva visszavenni készült a Magyarországnak tett „kényszerű” engedményeket.

Magyarország számára előnyösebb lett volna, ha elkerülheti a konfrontációt. De ha már arra került sor, helyesebb és realisabb volt a meghódolás helyett a törvényesség alapján az önvédelmi harcot vállalnia. A kormány helyét az Országos Honvédelmi Bizottmány vette át, Kossuth vezetése alatt.

Batthyány, mielőtt lemondott, még Párizsba küldte gr. Teleki Lászlót, aki ott, hivatalos elismertség nélkül is, jól képviselte a magyar ügyet, a sajtót tájékoztatással látta el, és jó ideig szinte külföldi magyar külügyminiszterként működött. Megbízottakat küldött más országokba. Pulszky Ferencet, aki 1849 elején Párizsba menekülőként érkezett, ő irányította Londonba, s szerzett neki hazulról utólag megbízást, miután kiderült, hogy Angliában magánszemélyként ügyesen működik a sajtó és közélet terén. Pulszky így – nem hivatalosan – Palmerston külügyminiszterhez is eljutott, aki azonban végig kitarzott amellett, hogy a Habsburg Monarchiára mint nagyhatalomra feltétlenül szükség van az európai hatalmi egyensúly fenntartása érdekében.

Nyugaton szinte leírták Magyarországot, amikor Windisch-Graetz herceg, immár a császári sereg élén, 1849 elején messze előnyomulva a fővárost is elfoglalta, és azt hitte, hogy végképp legyőzte a magyar forradalmat. E tévhit következménye az volt, hogy az osztrák kormány március 4-én kiadta az ún. olmützi manifesztumot, amely Magyarországot részeire bontva, a koronatarományok egyikeként osztotta be a Monarchia új szervezetébe. Ekkor jött az újabb meglepetés, a magyar ellentámadás, a tavaszi hadjárat csodája, amelynek során az egykori főhadnagyk az osztrák határig kergették vissza megtépázott, egykori tábornokaikat. Közben pedig Kossuth, a manifesztumra válaszul, április 14-én Debrecenben kimondotta a Habsburg-ház trónvesztését és Magyarország függetlenségét.

Az ennek értelmében április 19-én kelt Függetlenségi Nyilatkozat, ha olyan dokumentumnak, üzenetnek tekintjük, amely egy nemzet szabadságvágyát fejezi ki, indokolásra, igazolásra nem szorul.

Harmadik tanulságunk azonban, amelyet sajnos akkor is ki kell mondanunk, ha esetleg mások hagyományos véleményével nem egyezik, éppen az, hogy mint konkrét politikai lépés az adott feltételek közt nem volt szerencsés. Magyarország nemzetközi helyzetén nem javított, hanem inkább rontott. Nem azért, mintha az orosz intervenciót – mint sokan hitték, akkor és utóbb – ez váltotta volna ki. Az osztrák vezetést a tavaszi magyar katonai sikerek készítették arra, hogy segítséget kérjen a cártól, akivel ilyen esetre már 1833 óta megállapodása volt. Schwarzenberg herceg osztrák miniszterelnök már a katonai segítség technikai részleteiről tárgyalt az orosz udvarral, amikor a trónfosztás történt. Igaz, hogy ezt bizalmas úton végezte, és saját minisztertanácsa elé csak április 21-én terjesztette a javaslatot, a főparancsnok előző napi ijesztő jelentésének hatására. Ha ekkor esetleg már a trónfosztásról is hírt kapott – mint ahogy kaphatott –, akkor az már nem befolyásolta döntését, legfeljebb megnyugtatta annak nemzetközi visszhangját illetően. „Tant mieux” (annál jobb), írta a hír vételekor az ifjú Ferenc József is. Brunov londoni orosz követ saját szempontjából egyenesen szerencsés fordulatnak nevezte, hogy Kossuth nem maradt a legális önvédelem terén, mert – szerinte – az angolok rokonszenve már nagyon a magyarok felé kezdett fordulni. Az ő jelentéseiben olvasható az is, hogy Palmerston – állítólag – úgy reagált az orosz beavatkozás hírére: „Csak gyorsan végezzenek!” A magyar nyilatkozatnak tehát e téren csak annyi szerepe volt, hogy az orosz – és osztrák – diplomácia számára megkönnyítette az intervenció tényének nemzetközi, nyugati elfogadtatását.

Az előző év óta, amikor még többféle alternatíva állt nyitva, a magyar politikának szűkebb lett a mozgáster. A forradalmak elapadtak, s az utolsó német, francia baloldali próbálkozások bukására is röviddel ezután sor került. Ezt a tendenciát Magyarország egymaga nem fordíthatta meg. Akkor sem, ha a honvédsereg a tavaszi hadjárat végén az osztrák határon túl is folytatja a császári sereg üldözését. Ma már tudjuk, hogy az erőviszonyok nem kedveztek ennek, az osztrák és német területek nem voltak újra forradalmasíthatók, és Poroszország is inkább olyasmit tervezett, hogy bizonyos feltételek közt Ausztriának nyújt a magyarok ellen segítséget. Buda visszavétele pedig, a Függetlenségi Nyilatkozat mellett, a magyar tervek szerint szükséges volt ahhoz, hogy Magyarországot nemzetközileg elismerjék.

A nagyhatalmak viszont kezdettől fogva a Habsburg Monarchia fenntartása mellett és a forradalmak ellen foglaltak állást. A francia kormány üres szavakkal intézte el az orosz intervenció ellen felszólaló interpellációkat. S örült, hogy Oroszország ellenszolgáltatásul elismerte a februári forradalomból született köztársaságukat. Anglia, az igazi nagyhatalom pedig a Habsburg-hatalom fő támasza volt. Szalay Lászlót, aki 1848 végén Londonban megbízólevéllel jelentkezett, a kormány azzal a postai közlésével utasította el, hogy „a brit kormány Magyarországot csak mint az osztrák birodalom alkotórészeinek egyikét ismeri”, és ezért a magyaroknak, ha esetleg valami közölnivalójuk van, azt az osztrák követ útján kell megtenniök. Palmerston külügyminiszter mindvégig Habsburg-párti véleménye, főleg az angol közvéleményben a magyarok iránt erősödő rokonszenv

miatt, utóbb is csak annyiban változott, hogy a Monarchia belső berendezését szerte volna, Bécs érdekében is, elfogadhatóbbá tenni, korszerűsíteni. Magánszemélyként – mint említettük – időnként meghallgatta Pulszky információit, de neki is, meg a Londonba látogató Telekinek is azt tanácsolta, hogy egyezzenek meg Ausztriával, mert „az európai államrendszer keretében lehetetlen Ausztriát kis államokkal helyettesíteni”. Az angol alsóházban 1849. július 21-én a Magyarország érdekében elhangzott interpellációra pedig azt válaszolta, hogy Ausztria „az európai hatalmak egyensúlyának egyik legfontosabb tényezője”, amelynek szétesését, Magyarország elszakadását, a forradalmat, a brit kormány nem hajlandó támogatni. Ehhez, igaz, azt is hozzátette viszont, hogy Ausztriát is gyengíteni, ha uralma pusztán erőszakon alapulna, és ezért kívánatos, hogy „a nagy harcnak valamilyen baráti megegyezés vessen véget a küzdő felek között”. Pulszky július 27-én is arról írt Kossuthnak, hogy Palmerston és más angol politikai személyiségek barátságosak, de mást nem tennének érdekünkben, mint „legfeljebb mediatiót az 1848-iki törvények alapján”.

A bukás idején ilyen közvetítő lépés vagy Bécsnek adott jó tanács, amelyre valóban történt kísérlet, természetesen semmi eredménnyel nem járhatott. De korábban, mondjuk, áprilisban, a magyar sikerek idején, talán igen. Legalábbis szaván kellett volna fogni Angliát, ha valami lépésre akartuk bírni.

Az olmützi manifesztumra, mint Kossuth helyesen látta, Magyarországnak valóban választ kellett adnia. De ezt a Függetlenségi Nyilatkozat helyett szerencsésebb lett volna olyan formában tennie, amely a nagyhatalmi érdekeknek jobban megfelel. Érdemi visszhangra csak egy olyan jegyzék számíthatott, amelyben Magyarország kifejezi, hogy íme: önállóságát, ha kell, meg tudja védeni, de figyelembe véve a nagyhatalmak érdekét a Habsburg Monarchia mint az európai egyensúly tényezője fenntartásában, hajlandó azok közvetítését, nemzetközi garanciáját igénybe véve, illő feltételek közt megegyezni a dinasztiaiával és a Monarchia békéjét, pozícióját a maga részéről biztosítani. Ez nem lett volna meghódolás, nem zárta volna ki, kellő eredmény híján, a további lépéseket, adott esetben még a függetlenség kimondását sem, még hinni sem kellett volna sikerében feltétlenül. A nagyhatalmak részéről viszont nem lett volna egyszerűen válasz nélkül hagyható. Valami mozgást elindíthatott, talán az orosz intervenció tudomásul vételét is nehezítette volna. Mivel a történelemnek ellenpróbája nincs, a „volna” szó használata ilyenkor sajnos elkerülhetetlen, ha a lehetséges alternatívákat keressük. De az egykorú nemzetközi koordináták ismeretében ennyit feltételezhetünk. Teleki azt is nagyon hiányolta, hogy a Nyilatkozatban a magyarok és a szomszéd nemzetek viszonyáról, amely Nyugaton – főleg Franciaországban – külföldi megítélésünk egyik legfőbb kérdése volt, nem esett szó, holott erről, ha kiábrándító módon is, még az osztrák manifesztum is beszélt. „Méréskeltem a kifejezéseket, s a népek testvériségéről is ejtettem pár szót” – írta Teleki Pulszkynek arról, hogy miként közölte a francia sajtóval a függetlenség kimondásának hírét.

Tudjuk persze, hogy Ausztria nem volt hajlandó egyezkedni a magyar „ládákkal”. S eszerint a „békepárti” magyar politika sem volt realisabb a függet-

lenségénél. De itt nem e két fél viszonyáról volt szó csupán, hanem Európa főszereplői – a nagyhatalmak – megmozdulásáról, amelyen Kossuth is annyit fáradozott.

Negyedik tanulságunk a magyarok és a szomszéd nemzetek (a kissé szűkítő magyar hivatalos szóhasználatban „nemzetiségek”) viszonyának elemzéséből adódik. E viszony hosszú történetén belül azonban, némi korábbi viták után, 1848 mint első nagy próbatétel egy hosszabb folyamatnak drámai nyitánya volt csupán. A tanulságot tehát az alábbi fejtegetések végén kell itt elmondanunk.

A polgári fejlődés, francia mintára, másutt is nemzeti államokat készült létrehozni. Tehát olasz és német egységet a szétagoltság és az észak-itáliai osztrák uralom helyett. E folyamat előbb-utóbb érvényre is jutott, bár menetrendje, módzata nem volt eleve megírva. 1848-ban például nem sikerülhetett, ami Magyarország számára akkor hátrányosnak bizonyult. A soknemzetiségű, dinasztikus birodalmak esetében viszont, egy lépéssel tovább, a nacionalizmus éppen ellenkezőleg, nem egyesítő, hanem dezintegráló, szétbontó erőként jelentkezett. Ez állt a Török Birodalomra, majd a Habsburg Birodalomra is. De az, hogy e tendencia mikor, miként, milyen ellenhatások közt fog érvényesülni, és minő végeredményt fog produkálni, természetesen itt sem volt a történelem menetrendjében előre megírva. Ütközhettek itt nagyhatalmi érdekek. Vagy maguk az érdekelt, kisebb nemzetek próbálhatták a folyamatot megállítani, mint a csehek 1848-ban, akik a Habsburg Monarchia fenntartása mellett foglaltak állást, nehogy a német Bund tagjaként az új Németországba kerüljenek. A kisebb államokra, ha a Monarchiából kiválnak, a terjeszkedő orosz hatalom tehetette rá kezét. Konfliktusokat ígért az is, hogy e régióban, ahol sokféle etnikum élt együtt, nemegyszer egymásba ékelődve, nemzeti alapon nehéz volt meghúzni politikai határokat.

A régi, történelmi Magyarországnak 1848-ban, sajátos módon, két arca, kétféle szerepe volt. Egyrészt mint a magyar nemzeti mozgalom hazája a soknemzetiségű Habsburg Birodalom kereteit feszegette. Másrészt viszont mint soknemzetiségű ország maga is „birodalmi” keret volt más, szomszéd nemzeti mozgalmak szemében. Még akkor is, ha egyébként, történeti múltját és földrajzi alkatát tekintve, Magyarország nem volt a Habsburg Birodalomhoz hasonlítható. Mint Széchenyi mondta: kisebb szövetség volt a nagyobb szövedésen belül. Befogadó ország volt már a középkorban is, de az elmúlt századok pusztulása, majd beköltözései nyomán a magyarok a lakosságnak felét sem tették ki, bár még mindig a legnagyobb egyedi etnikumot alkották a sokféle más – horvát, szerb, román, szlovák, ruszin (ukrán), német stb. – etnikum mellett. Ezek kevés kivétellel szintén a nemzeti fejlődés útjára tértek, és saját nemzeti követelésekkel léptek fel a történeti Magyarországgal szemben.

Tudjuk persze, hogy Franciaországban is sokan nem beszéltek franciául, és mégis mindenki a francia nemzet tagjának minősült. A magyar politikusok is úgy gondolták – nemesi liberálisok és ifjú, pesti radikálisok egyaránt –, hogy a polgári, egyéni szabadságjogok megadása fejében a többiek is hozzájuk csatlakoznak, és így az országból magyar polgári nemzetállamot lehet létrehozni. A valóságban ez nem csak az etnikai arányok eltérő volta miatt nem sikerülhetett. Még döntőbb

különbség volt az, hogy míg Franciaországban – mondjuk – a bretonok mögött az Atlanti-óceán terült el, addig Magyarország délvidéki szerbjei mögött, a határon túl a szerb fejedelemség, az erdélyi románok mögött pedig két román fejedelemség képviselte nemzetük céljait. S némi igyekezettel a szlovákokat is lehetett a csehek felé szorítani. A polgári szabadság elnyerését eleinte más etnikumok is üdvözltek, főleg, akik nyertek vele, de nemsokára saját nemzeti, területi követelésekkel léptek fel. Mivel Bécs sietett e törekvéseket a magyar mozgalommal szemben felhasználni, a magyar vezetés ezeket osztrák (meg orosz pánszláv) aknamunkára próbálta visszavezetni. Bécs szerepe részben igaz volt, de korántsem teljesen. Nagyrészt állt a horvátok esetére, hiszen Jelačić Bécs számára indult elfoglalni Pestet, miután a magyar kormány a horvátok teljes különválásába is kész volt belemenni, és eleve külön nemzetnek tartotta őket. Itt államjogi, és nem etnikai kérdések álltak az előtérben. Nemigen lehetett a konfliktust elkerülni Bécs szerepe miatt a szerbek esetében sem, akik zömmel a katonai határőrvidéken éltek, és fegyveres felkelésük császári közegek meg a határon túlról érkező fegyveresek közreműködésével indult. De a szerb mozgalomnak volt olyan civil ága, amely nemzeti identitásának meggyerőbb kezelésével talán kedvezőbb irányba lett volna fordítható. A román–magyar viszony esetében nemcsak szembetűnően keveredtek a közös és nagyon ellentétes érdekek, hanem az is kitűnt, hogy bécsi vagy saját nemzeti akciók mellett roppant szerep jutott – a Magyarországgal unió útján egyesült Erdély elmaradtabb társadalmi viszonyainak súlyos örökségeként – a román paraszti tömegeket mozgató ősi feszültségnek, az új század hazai módszereivel nehezen kezelhető robbanásveszélynek is. A fiatal magyar radikálisok sajtója a földesurakat tette felelőssé a „múlt bűneiért”, azért, hogy a románoknak „az erdélyi gyalázatos arisztokrácia ellenében halálos sérelmei voltak”.

A magyarok nem, vagy csak nehezen, későn ismerték fel azt, hogy a szomszéd nemzetek alapján véve ugyanazt akarják a maguk számára elérni, amit ők, a magyarok már maguknak – úgy látszott – megszereztek. Feltették viszont országuk területi épségét és önállóságát. Az olmtüzi manifesztum, bár a nemzeti egyenjogúságot emlegette, ki is ábrándította a különböző nemzeti mozgalmak vezetőit abból a tévhitükből, hogy Bécs az ő céljaikat kívánja megvalósítani. Megindultak, elég szervezetlenül, bizonyos békéltető tárgyalások. Teleki László, aki Párizsban lengyel, román és más emigránsokkal találkozott, és a jövő perspektíváit a legvilágosabban ismerte fel, 1849 tavaszán sürgetve javasolta, hogy a kormány mindenképpen egyezzen meg a szomszéd nemzetekkel, és Magyarországot „a konföderáció bázisán” szervezze át. Május 14-én ezt írta Kossuthnak: „Magyarhon jövője nézetem szerint attól függ, hogy a különféle nemzetiségek iránt legyünk jogkiosztásban mentől bőkezűbbek. Nemcsak Austria halt meg, hanem Szent István Magyarországa is.” Idehaza ezt az elképzelést csak a fiatal radikálisok egy csoportja támogatta. A kormány válaszul azt közölte, hogy az ország területi széttagolásába vagy „egy federatív státusz felállításába” nem mehet bele. Az adott helyzetben, a háború küszöbén ezt különösen nem tehette. Közben azért próbált a szerbekkel, főként pedig a románokkal megegyezésre jutni. A bukaresti forradalom volt külügyi államtitkára, N. Balcescu javaslatára sikerült is egy

„megbékélési tervezetet” aláírnia. Ez azután utóbb, július végén, alapul szolgált a Szegeden elfogadott nemzetiségi törvényhez is, amely első volt a maga nemében. A törvény biztosította az érdekelt népek szabad nemzeti fejlődését, a saját nyelv használatát a hatóságok előtt, a helyi közigazgatásban és az autonóm szervezetekben, valamint az iskolákban. Jelentőségét akkor is elismerhetjük, ha látjuk, hogy későn született, és alkalmazására már nem kerülhetett sor, mint ahogy annak kipróbálására sem, hogy e nyelvhasználati jogok mennyire elégíthetik ki a különböző nemzeti igényeket. A szabadságharc sorsát végül is nem ez a kérdés döntötte el, ha fokozta is nehézségeit. Ha a két román fejedelemség együttes erővel sem tudott az orosz és török uralomtól megszabadulni, akkor Paszkevics túlerejének következményeit sem ellensúlyozhatta, hogy Avram Jancu az erdélyi hegyek közt mikor határozza el a harc beszüntetését. A jövő szempontjából azonban annál nagyobb jelentősége volt annak, hogy a kölcsönös sérelmek, a fájdalmas sebek vagy a megbékélés emléke él-e erősebben tovább.

Van szerző, aki úgy látja, hogy a sokféle nemzeti igényt, főleg területi követeléseik miatt, bőkezűbb engedményekkel sem lehetett volna leszerelni. Ez a megállapítás sokban reális, de alibiként is könnyen volt felhasználható. Mi úgy gondoljuk, hogy a magyaroknak éppen 1848 tapasztalatai alapján, önrendelkezésüket visszanyerve, a szupremáciához való heves ragaszkodás helyett helyesebb lett volna kockázatot is vállalva próbát tenni azzal az igyekezettel, amely azt kívánja elérni, hogy a közös, civilizált hazában mindenki, saját identitásával együtt, jobban otthon érezze magát, mint esetleg máshol. Ehhez viszont az alábbi, negyedik, tanulság levonására volt – lett volna – szükség.

Az, hogy a régió kisebb nemzetei mind, egymás után kifejlődnek, szétválnak, saját útjukon haladnak, a történelmi folyamat irányát tekintve elkerülhetetlennek mutatkozott. A merre kérdésre tehát a válasz eleve adva volt.

De nem volt eleve meghatározva az, hogy ez miként, hogyan, milyen körülmények közt fog végbemenni. Viszonylag békés úton, egyezkedéssel, úgy, hogy az együttműködés, a békés együttélés nem válik köztük lehetetlenné, vagy keserű vitákkal, európai válság és háború esetén robbanással, úgy, hogy a kazán darbjai kiszámíthatatlanul szétrepülnek.

A magyar politikának, amíg arra ideje és módja volt, megfelelő pozícióban, arra kellett törekednie, hogy e folyamatot ne erőszakkal próbálja eltorlaszolni, hanem úgy kanalizálja, ahogy az számára – és mások számára is – viszonylag elfogadható. Az önérdeket is lehet – sőt ajánlatos – értelmesen képviselni. Mások megbecsülése határozottságot is jelenthet, és nem gyengeséget.

Mondanivalónkat egy téves feltevés cáfolatával kezdtük. Ilyesmivel szeretném végezni is.

Legutóbb egy hazai folyóiratban az az állítás jelent meg, hogy Európához való hagyományos tartozásunk olyan toposz, vagyis bizonytalan hitelű közhely, amelyet történészeink újabban szándékosan sokat emlegetnek. S példaként hivatkozott is a *Magyarok Európában* című sorozat III. kötetének egy idevágó passzusára, amelyet egyébként nem azért tartok ma is szakmailag helytállónak, mert történetesen tőlem származik.

Azt persze készséggel elismerem, hogy valóban szándékosan igyekszem igazat írni, amennyire tőlem telik. Sőt, ezt olykor figyelmeztetés céljából is megteszem. Európai helyünk történeti elemzése azonban nem dicsekedni óhajt, önmagunkat vagy éppen – még gyermetegebb naivitással – netán Brüsszelt emlékeztetve arra, hogy már régóta szépek és okosak vagyunk, tehát az unió tagságát kiérdemeltük. Nem, ez itthon szól azoknak, akik még mindig nem ébredtek tudatára annak, hogy milyen nemzetközi, európai koordináták közt folyt és folyik történetünk, hogy nem pusztá szigeten vagy a puszták szigetén élnek, élünk, és akik tévesen képzelik, hogy hamuban sült érzeményeik varázsszavával úgy forgathatják maguk körül a külvilágot, mint ha a fark csóválná a kutyát.

Világosan kell látnunk, hogy a magyar történelem és vele a magyar politika mozgásterét, legalábbis a 16. század eleje, az európai államrendszer létrejötte óta meghatározó erővel a nemzetközi erőviszonyok alakulása szabta meg. Az így létrejött körvonalon, annak változásain, szűkülő vagy megnyíló, táguló lehetőségein belül azonban természetesen mindig volt több-kevesebb mozgásterünk.

A nagy kérdés mindenkor éppen azt volt, hogy ezt a mozgásteret a magyar politikai elit hogyan tudta felhasználni, esetleg bővíteni, veszélyeit elkerülni, lehetőségeit pedig, ha voltak, mint ahogy azok is voltak, felismerni és értékesíteni. S ez nemcsak 1848 vagy a régebbi múlt kérdése, a tegnapé és a tegnapelőtté, hanem a jelen és a jövő kérdése is.

NYELV- ÉS IRODALOMTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

PETŐFI-EMLEKÜLÉS

MARGÓCSY ISTVÁN

Petőfi dilemmái

„*S*ors, nyiss nekem tért, hadd tehessek / Az emberiségért valamit!” – szól Petőfi sokat idézett, élet- és költészeti programként egyaránt felfogható felkiáltása, amelyet már annyiszor interpretáltak a költő ideológiai-politikai állásfoglalásának értelmezése végett.* Ám, furcsa módon, a sok-sok, egymástól igencsak eltérő Petőfi-portré megalkotása során mindvégig meglehetősen kevés szó esett arról, hogyan is képzelte el Petőfi amaz *ént*, akinek számára az emberiségért való cselekvésnek tere meg kellene hogy nyíljon, s arról, valójában milyen téren képzelhette el a költő eme cselekvésnek lehetőségeit. A mindmáig nagyon erősen biografikus és politikai-történeti jellegű Petőfi-ábrázolások, pszichologizáló vagy ideologizáló beállítottságuk révén, e kérdéseket rendre félretolták (vagy esetleg nem is vették észre), s úgy állították be, mintha Petőfi számára az *én* kérdése, úgy-mond, természetes és problémátlan lett volna, s ama, abban az időben korszerű, romantikus válságtünetek, melyek a személyiség problematikus voltát, a személyiség és szerep problémáját, a személyiség és elidegenedés problémáját érintették, róla egyszerűen leperegtek volna, vagy ha esetleg meg is érintették volna őt is, akkor is, az ő esetében, csupán múltó, önbecsapó önértékelési zavaron vagy téves helyzetfelismerésen alapuló szerepzavarról s így a jellem önépítő tendenciái által, esetleg a történelem és politika fordulatai által könnyedén megoldható (megoldott), ki nem terjesztendő és nem általánosítandó, személyes „bajról” lett volna szó (egy ilyen kép megalkotása során persze könnyedén lehetett hivatkozni Petőfi önjellemzéseinek nem egy állítására is; elegendő, ha itt csak egy sor idézzünk: „*Újjonnan visszajött a régi baj...*”). Petőfi úgy tűnik fel a tengernyi Petőfi-irodalom óriási többségének tükrében, mintha számára a költőszerepek és változataik problémátlanul adódtak s valósultak volna meg (sőt, néha úgy, mintha az ő egyéni, személyes közreműködésére nem is lett volna szükség), s mintha költészetében ennek az alapvetően aktuális, modern, romantikus problémának semmiféle lecsapódása nem lenne. S ha még tovább megyünk: mindennek mé-

* Egy készülő nagyobb tanulmánynak előadás céljára erősen tömörített változata.

lyén alighanem az a nemritkán nyíltan is kimondott alapfeltételezés rejlik, hogy az aktív, cselekvő, életben bízó, forradalmár költő épp azáltal tudta megkerülni az individuum problematikus kérdéseit, hogy elvállalta (vagy talán nem is vállalta, hanem csak önmaga részéül fogadta) az élet, a történelem, a forradalom feladatait (egyszerűsítsük le most ezt a kérdést a bevezető idézetünkkel: az *emberiségért* való cselekvés feladatait), s ezáltal, elsősorban a költői képviselési szerep kegyéből (azaz a mások, a közösség szolgálatának révén), szerencsésen el tudta kerülni az *én* és a szerep esetleges válságának kísértését. Legyen itt elég minderre csak egy jellemző ítéletet idéznünk: (Petőfi) „Kora sodrába szökik, s egyéni küzdelme egy-két csapás után a korhős küzdelme. A feladatok közepében áll, s a feladatok szívják fel erejét. Költészetében nyoma sincs a tétovázó erő gyűrődéseinek, az önmagán babráló szellem unalmának. ... Ezért olyan friss, világos minden: Petőfit nem üli meg a kushadó képesség doha; igazi alkotó élet ez, amelyben a nap a naptól egy csatányira, vers a verstől egy fél műfajnyira van. ... Petőfiben olyan túlnyomó a tehetség sugallata, hogy a válaszutakat szinte észre sem veszi. Egy iramban megy, s tér mindig jobbra s mindig meredekebbre – mint aki meg sem érti, hogy másfele is lehet menni.” [Németh László: *Jelszó: Petőfi* (1934). In: Németh László: *Az én katedrája*. Bp. 1975. 362.] Alighanem az ilyen típusú egységesítő és problémakerülő jellemzés szolgálhat (vagy legyünk elnézőbbek: szolgálhatott) ama, több változatban is nagyon mélyen rögzült Petőfi-kép megalkotásához, mely a homogén és válaszutak nélküli költői attitűd állításával sikeresen politizálta át és túl a költő alakját, szerepét és költészetét, s amely lehetővé tette, hogy irodalmi nyelvhasználatunkban szinte természetesként éljenek (élhettek) az olyan, tökéletesen és kétségbenvonhatatlanul egységes költőfigurára való utalások, mint amilyenek voltak pl.: *Petőfi a vízvázalstó; Lobogónk Petőfi* stb. Hisz még az iménti idézet is, melyben pedig a szerző, Németh László nem elsősorban politikailag prezentálja Petőfit, ama címet viseli: *Jelszó: Petőfi*.

Holott ha nem az életrajz vagy nem történeti-politikai ideológia mentén olvassuk Petőfi költészetét, s nem is jellemrajzot akarunk felfesteni, hanem csak azt keressük a művekben, milyen volt ama poétikai gesztus, mely Petőfi költészetének énképét és költőszerepéhez való viszonyát meghatározta, első pillantásra is rengeteg olyan jelre bukkanunk, melyek a romantikus én problematikuságára utalnak. Ama nagy önvallomás és önjellemzés, mely az *Összes versek* 1847-es előszavában áll, s melyben Petőfi, ismeretes módon, saját magát, a jellem szaggatottságának okán, százada hű gyermekének nevezi, e szaggatottságra csak látszólag hozza fel szomorú, küzdelmes személyes sorsának külső (és persze, verseire nézve: tematikai) meghatározottságait: „Végre, hogy bennem szaggatottság van, az, fájdalom, való; de nem csoda. Nekem nem adta isten a sorsot, hogy kellemes ligetben csalogánydal, lombusugós és pataksörgés közé vegyítsem énekemet a csendes boldogság vagy csendes fájdalomról. Az én életem csatatéren folyt, a szenvedések és szenvedélyek csatatéren; a régi szép napok holtteste, meggyilkolt remények halálhörgése, el nem ért vágyak gúnykacaja s csalódások boszorkánysipítáai között dalol féltébbolyodottan műzsám, mint az elátkozott királyleány az Óperenciás-tenger szigetében, melyet vadállatok és szörnyetegek őriznek.” Mindez még felfogható lenne egy

szenvedéstelinek érzett élet patetikusan felstilizált öngazolásának, s mondhatnánk azt is, hogy a költő, ezek szerint, csak az őt sújtó külső tényezők leküzdhetetlen hatását hagyná érvényesülni verseiben (no meg, ennek következtében, *önmagában*); bár ennek során sem felejtkezhetnénk meg arról, hogy a költő saját műsáját *féltébolyodott boszorkányként* prezentálta. Ám Petőfi még ennél is meszebb megy öngazolásának történeti kiterjesztése során (ugyanebből az előszóból idézek): „Aztán e szaggatottság nem is egészen az én hibám, hanem a századé. Minden nemzet, minden család, sőt minden ember meghasonlott önmagával.” Az utolsó kifejezés, mely szerint *minden ember meghasonlott önmagával*, még akkor is megérdemli figyelmünket, ha a továbbiakban a költő e tételét, miközben historizálja, némileg le is egyszerűsíti, feltételezvé egy esetleges egyszeri történelmi vulkánkitörés radikális változtató, korszakváltó hatását; s kivált akkor érdemli meg figyelmünket, ha e tételt Petőfinek más hasonló irányulású önjellemző költői megnyilatkozásaival vetjük össze.

Már Erdélyi János felhívta a figyelmet arra, mily különös, hogy a naiv természetköltőnek beállított Petőfi önmagában a radikális kettősséget is vállalja, mondván:

„Nem ért engem a világ,
Nem fér a fejébe,
Egy embernek éneke
Hogy lehet kétféle”.

E sorokban a költői megszólalás kétféleségének és e kettősség egymással (külső szempontból nézve) össze nem egyeztethető voltának kinyilvánítása a legfontosabb, s nem is csak abban az értelemben, ahogy a romantikus költő mintegy lenézi a költészettel szemben értetlen és méltatlan külső világot; itt Petőfi mind a világnak, mind az egyéni megszólalásnak megenged egy olyan kettősséget, mely önmagától kizárná a homogén és folytonos értelmezhetőség közvetlenül adódó és belátható voltát. E személyiségen belüli kettősség aztán Petőfi költészetében mindvégig nyomon követhető: a költő sehol nem engedi, hogy statikus, közvetlenül leírható és besorolható kép alakuljon ki róla, állandóan hivatkozik arra, mennyire változandó és változatos is, mondjuk most így, *imagója*, s nem egy versében ad magáról olyan önjellemzést, mely eleve abból indul ki, hogy az érintett figura, mintegy természetéből következően, nem egységes. Így pl. az igen szép és erős *A szél* című „leíró” versében egyes szám első személyben állít, versszakonként egymással össze nem mosható, ám egymást nem cáfoló jellemvonásokat; hasonlóképpen *A felhők* című versében, hol a részletesen leírt alakváltásokat és alternálásokat nyíltan is értelmezi:

„Miért vonzódom úgy hozzájuk?
Mert ők lelkemnek rokoni,
Mely mindig új s új alakot vált
S mégis folyvást az egykori”;

programszerűen, egész költészetére vonatkoztatva jelenik meg mindez a *Dalaim* sokszerű és tarka panorámájában, ahol az egyhangú és egynemű költészet igényével szemben képviseli a folyvást alakváltó, más-más modalitásba is áttörhető költészet létjogosultságát, melynek az adja meg alapját, hogy az összes lehetséges modalitás megfér egymás mellett *egy* embernek, a költőnek, lelkében.

Petőfi, századának hű gyermeke, a tekintetben is tökéletesen romantikusnak tekinthető, ahogy önmagát mint magányos figurát teszi költészetének alaptémájává, ahogy önmagát, a költőfigurát állandóan az egyedüllét állapotában látja és ragadja meg, ahogy az értékek elosztásában az egyéniség önmagában való megjelenése nyeri a legmagasabb értékfokozatot. Ha tüzetesen olvassuk a Petőfi-verseket, a kitüntetett beszélő költőfigurának természetes alaphelyzeteként azt fogjuk tapasztalni, hogy nincsen körülötte senki, mindent egyedül lát és tesz, s hogy még egyébként sem gyakori, dialogikusnak fiktionált beszédsszituációinak ábrázolásakor is csak roppant ritkán jeleníti meg a vers címzettjét, megszólítottját. A költő az egyedüllét állapotát tekinti a költői megszólalás előfeltételül (még a politikai jellegű versek többségének esetében is), s a hatalmas, kozmikus és epifánikus természetelmények is akkor érik, amikor mindenféle partner híján részesül a természet isteni jellegéből (gondoljunk csak a *Kis-Kúnság* vagy *A Tisza* fiktív jeleneteinek szcenírozására vagy arra, hogy a még a *Szülőföldemen* című vers nosztalgikusan örvendő viszontlátása is – melyben egyébként, a tájversek nagy többségéhez hasonlóan, *egyetlen* más emberfigura nem szerepel – azért fakasztja ily kérdésre a költőt: „*Hol vagytok, ti régi játszótársak?*”, hogy esetleges láttukon a férfi-volt magányától szabadulhasson meg: „*Foglaltok helyet itt mellettem, / Hadd felejtsem el, hogy férfi lettem*”). A költő, a férfi, a beszélő Petőfinek verseiben individualisztikus egyedüllétében lesz megragadva; pontosabban szólva: a költő akkor találja magát valóban költői pozícióban, mikor minden (társadalmi) kötöttségtől függetlenül magát, s szabadra engedett lelkét mindenki másától elkülönözte. Ha e pozíciót bármi módon megteremtette, *akkor* lesz készen arra, hogy a legnagyobb romantikus lehetőségek számára is megnyissa magát, s hogy közvetlenül részesüljön akár a természetnek, akár Istennek a végtelenségéből (elegendő itt *Az apostol* híres, nagy, vizionárius jelenetére utalnom, melyben Szilveszter lelke elhagyja nemcsak a társadalom, a város és a család környezetét, nemcsak a Földet, hanem magát Szilveszter *testét* is, avégett, hogy teljes szabadságában szólhasson Istenhez; vagy pl. arra a nagyszabású vízióra, mely a *Falun* című vers „egyszerű” természeti környezetébe, a magányos szemlélő figurája köré a teljes kozmosz varázsát oda képes teremteni:

„Körüllem éj van, fényes éjszaka;
A csillagfényes éjben méla csend,
Oly csend, hogy szinte vélem hallani,
Mít a holdban szent Dávid lantja zeng”).

Érdemes megfigyelni e versszaknak árulkodó bevezető szavát: *körülem* van az éj; a megfogalmazás erőteljes szubjektívizálása mintha azt az értelmezést sugallná: az egész éj és világ *énkörülem* lenne, volna, léteznék. A költő, egyedül állván a világban, még akkor is önmagában áll és marad, mikor a természet a legmagasabb kegyelemben részesíti, s mikor a természettel való összeolvadás harmóniája a legközvetlenebbül adotttnak tételeztetik fel – amikor pedig szorongásában mondja ki rémítő vízióit, a tökéletes egyedüllét már magyarázatra sem szorul (az *Álmos vagyok és mégsem alhatom...* című versből):

„Mindenki alszik, csak magam vagyok
Nem alvó. Csend van, csak fogam vacog”.

Petőfi egyébként is elfogadhatónak és magára jellemzőnek vélte és állította a világgal szemben való distanciának szélsőségesen szubjektívizáló, romantikus elképzeléseit is, s az individualitás értékét oly nagyra tartotta, hogy az egyénnek nemcsak erkölcsi jogaként és kötelességeként, hanem *lehetőségeként* is számon tartotta az egész (most nem történeti-politikai értelemben vett) világgal való szembenállást (gondoljunk csak az oly szembeállítás kihívóan individualisztikus voltára, mely a már címében is hivatkozott, *A világ és én* című versben fogalmazódik meg:

„És ha tetszik engem fölemelned,
Ám emelj fel, mint bálványodat;
Ha fölültesz fejed tetejére,
Majd kirúgom szolgálodat!”):

a végső, frivol következtetés itt ugyanis azt a feltételezést rejti magában, hogy az egyén személyisége és a világ *terjedelmileg* is egymáshoz mérhető, azonos nagyságrendű halmazok, s ezek szerint az individuumnak meg is van a lehetősége arra, hogy a világ kihívásaira hasonló intenzitással válaszolhasson (ugyanaz a szemlélet, mely mint sorsharcot *egyenlő* ellenfelek közti vetélkedésnek fogja fel az életet, olvasható ki, patetikusan, az *Újjonnan visszajött a régi baj...* soraiból is: „*Ki az élettel, mint én, szembeszállt, / Az bátoran néz a halál szemébe...*”). A világ és az individuum Petőfi költészetében mindvégig radikálisan szemben állnak egymással, s még azon verseiben is, melyekben a világgal való megszűntét rögzítené, a világból való száműzetésének végét jelentené be, a szövegek képanyagából a radikálisan szembeállító kettősség nem tűnik el: a két halmaz sehol nem tudja átfedni egymást, a világban való együttes benne élés a versek képeiből nem olvasható ki (legfeljebb a költő a világ felett érzett sajnálatának eredményeképpen már nem egyszerűen a világgal szemben vagy a világon kívül határozza meg pozícióját, hanem a világ *fölköztet*, s innen tudja aztán megítélni annak egészét).

Petőfi a romantika által kínált nagy költőszerepek közül hármat fogadott el és tett magáévá: egyrészt a szélsőségesen individualista vallomások költőjét (mely lehetővé tette számára, hogy magánéletének, mindennapi apróságainak a korszak

számára szokatlan, mástól a nyilvánosság elé nemigen bocsátott mozzanatait is méltónak találja a megörökítésre, s mely utat nyitott számára a pillanatnyi, csak a költői szubjektumra irányuló élményköltészetnek legalábbis önideológiája felé), másrészt a természetbe és a közösségbe beleolvadó, bennük tökéletesen feloldódó „természetes” költőszerepét (ennek köszönhető amaz önarckép-ideologéma, mely zavartalanul meri, minden közismert ténynek dacára is, állítani, hogy a költő, s így maga Petőfi is, „a természet vadvirága”, s ennek köszönhető mind a népdal-korszaknak közösségi esztétikát feltételező, noha romantikus, mégis imitációs elvű dalforma-kultusza, valamint ama nagy, Petőfi által persze sehol részletesen ki nem fejtett ideológia is, mely szerint, tudjuk, „a népköltészet az igazi költészet”, s mely szerint mindenkinek azon kellene lennie, hogy e természetes népi költészetet segítsen uralomra jutni), harmadrészt pedig a népét vezető és irányító prófétikus költő szerepét, ki szellemének nagysága és kiválasztottsága révén, természetes közössége felé emelkedvén, a világ és a történelem titkos összefüggéseit is látni és láttatni képes (e szerep következményei között említhetjük egyrészt a politikai költészet igazolását, a költészet és történelem, történelmi fejlődés, a költészet és politika, sőt: a költészet és a valóság közti viszonyoknak romantikus átértelmezését a költészet jávára, másrészt, paradox módon, ugyanennek a felállásnak szinte inverzét is, azaz a költészetnek a hasznos társadalmi eszköz szintjére való redukcióját s alárendelését a pozitív történelmi cselekvés primátusának, harmadrészt pedig ama költői gesztusok előretörését, melyek a magasabb rendű, többnyire isteninek tekinthető titkok beavatott meglátásának feltételezésével tudnak csak működni: ilyenek ama nagy látomások és próféciák, az apokaliptikus szemléletnek megnyilvánulásai, melyek ugyan többnyire történelmi jellegűek, de melyek a Petőfi-féle természet-szemléletben is gyakorta kimutathatók).

E szerepek, egyes megvalósulásukban, az egyes, elkülönülő versekben, különböző változataikban, folyamatosan előfordulnak nála, általában a békés egymás mellett élés állapotában; ám a bennük rejlő feloldhatatlan ellentmondást természetesen nem tudják feloldani, s a velük való szembenézésnek szükségszerűen antinomikus voltát Petőfi sem tudja megkerülni. A nagyszabású, önmaga korlátlanágát hirdető individualizmus szerepe ugyanis összeütközik a természeti-közösségi szerep ideáljával, s az összeütközésnek nyomán vagy a természeti közösségnek, vagy az individualizmusnak kell meghátrálnia; másrészt a szabad személyiség önkifejezésének mindennapiságát és pillanatnyiságát is megengedő és megkövetelő szubjektivizmus, legalábbis a tartalmi-terjedelmi következményeket tekintve, ellentmondásba keveredik a prófétikus vezetőszerpnek a minden napokon való felülemelkedésével. Ama „szaggatottságot”, melyet Petőfi a már idézett előszóban önmagának (és korszakának) tulajdonít, ezért nem pszichológialilag vagy életrajzilag kellene értelmeznünk, hanem e költészeti szerephármaság feloldhatatlanságából lehetne eredeztetnünk. Petőfi költészetének dilemmái e szerepek dilemmái. Nemcsak azokról az irodalomtörténetileg már tüzetesen elemzett jelenségekről lenne itt szó, melyek az egyes szerepekből következő műfaji feszültségeket érintik (amilyen pl. a népdal-imitációs korszak esetében a helyzet-dalok alanyának népdalok közösségi esztétikájával össze nem egyeztethető, túl-

feszített szubjektivitása), hanem pl. ama művekről is, melyekben Petőfi maga is tételelesen számot vet választásainak lehetőségeivel és következményeivel, s legalábbis felvázolja a lehetséges alternatívákat. Két példát említenék itt, melyekben tematizálva is lesz a szerepek közti választás. Az első a már idézett, *Falun* című vers, mely, egészen különös módon, nemcsak tematizálja, hanem imitációjával, poétika-váltásával mintegy illusztrálja is a kettősséget. A bevezető sorok és strófák impozánsan romantikus személyiség-felnagyító víziója (melyben az átszubjektívizált és lelkesült hangvétele egészen királlyá növeszti a magányos figurát:

*„Király vagyok most minden alkonyon:
A nap pirosló fényt lövel reám,
A nap pirosló búcsusúgára
Bíborra festi egyszerű ruhám”)*

ugyanis a vers utolsó kétharmadában úgy adja át a helyét a szubjektumról való teljes lemondás ideologikus követelményének s a korabeli közhelyekhez való alkalmazkodásnak megfelelően, nosztalgikusan elképzelt népi életmód idealizálásának, hogy eközben még a versnek hangneme, a versbeszéd modalitása és képszerűsítése is kifordul helyéből:

*(„A fölmagasztalt nagy nevek között
Ne hangoztassa senki nevemet,
Csak szőlőm és szántóföldem legyen
Termők piros bort s fehér kenyeret.*

*S midőn szőlőmből s szántóföldemről
Házamba térek este: hozza be
Majd a piros bort s fehér kenyeret
Piros menyecskének fehér keze.”).*

A másik vers, a *Szomorú éj*, amely – két évvel a *Falun* után – újra tematizálja a problémát, már mélyebben elemzi az egymással szemben álló princípiumokat: e versben a természetesnek állított paraszti életformából kinőtt individualisztikus értelmiségi a saját magatartásformájának nehézségét méri az individualitás előtti tekintett idillikus falusi életképhez, s mintegy a nehézségek előli menekülés egyik lehetőségeként vetíti ki a visszatérésnek lehetőségét:

*(„Apám, apám, mért is taníttatál,
Miért az eke mellett nem hagyál?...)*

*Miért tanultam? mért nem maradék
Földművelő, aminek szánt az ég?
Nem tölteném most kínos virrasztással
A végtelenbe nyúló éjszakát...*

*Volnék földműves vagy volnék juhász!
Ki messze, kint a pusztákon tanyáz,
S míg ellegelget kolompolva nyája,
Ő hús bokorba vészi bé magát,
S nem hallja senki sem, úgy fujdogálja
Saját kedvéért a kis furulyát.”)*

E vers azonban radikálisan más poétikával oldja fel a fenti dilemmát: az individuuum szemével nézve ez a csodálatos idill már korlátozott érvénnyel bír, s a versben megnyilatkozó költő már csak ironikus távolságból tudja az eszményi juhász korlátozott világát szemlélni („Csókot kap és ad a juhász, s ő boldog, / Hiszi tehát, hogy a világ is az.”). A romantikus individuuum, melynek legfontosabb feladata az lesz, hogy a világra is kitekintsen (hisz csak így tudja, a világgal korrelációban, önmagát is meghatározni), ama szemléletet, mely távlat nélkül képes megelégedni a nagyvilágra való figyelés híján is, csak el nem fogadható, enyhén átironizált idillként tudja és akarja rögzíteni.

Hasonlóan feszítő dilemmák állnak a prófétikus költő szerepe mögött is: a költő, aki kiválasztottságát úgy éli meg, mint a többi ember és a világ felé növvő és emelkedő lehetőséget, az individualitás merőben szubjektív jellegét tekintve e szereppel is többször konfliktusba kerül, s ráadásul nem is csak egy szempontból. A költő, aki úgy tekinti magát, mint az istenség szent levelét, aki Mózesről mintázza legnagyobb szabású előképét, mely szerint „Ujabb időkben isten ilyen / lángoszlopoknak rendelé / A költőket, hogy ők vezessék / A népet Kánaán felé”, aki adottságként fogadja el, hogy – mint Az apostolban olvassuk – az egész világot, a földet a kiválasztott, zseniális nagy lelkek sugarai érlelik meg, kénytelen azzal is számot vetni, hogy kiválasztottsága egyben elidegenedettséget is rejt magában, s így kiválósága egyedülléthez és magányhoz vezet (ahogy Az apostol idézetének folytatása mondja: „Minden nagy lélek egy ilyen sugár, de / Csak a nagy lélek, s ez ritkán terem”) – a vezető és a vezetettek közt a távolság áthidalhatatlan (csak példa végett: Szilvesztert már iskoláskorában is utálják tanuló társai, s áldozatát követően is a nép gúnytárgyává válik stb.). A költő, a vezető, akit egyetemes mindentudással áldott meg a sors, mindig előtte jár vezetett népének, s még a tényleges történelmi megmozdulások, azaz a tenger feltámadása során is ő fogja, mintegy demiurgusként, irányítani az eseményeket (e felfogás olvasható ki többek között a *Forradalom* című vers sugalmazásából is: „... dalom / Viharodnak előjele, forradalom!”, de pl. Petőfinek Kossuthhoz 1849 elején írott leveléből is, melyben arról tanúskodik, hogy „a magyar köznép között az én dalaim voltak a szabadság első leckéje, megjele-nésem előtt hírért sem hallotta ennek az eszmének, amelyért most harcol”) – amely események aztán, a romantikus költő kényszerű tanulságára, nem úgy fognak alakulni, ahogy pedig ő elképzelte volt. A szerep feszültsége azonban nem egyszerűen a történelmi kudarc (ha tetszik: az ész csele) számlájára írható; az semmi módon ki nem küszöbölhető: itt a költő hatalmas individualitása, a személyiség szabadsága eleve úgy volt ugyanis koncipiálva, hogy egyedüllétében a társadalom minden kötöttségétől is megszabadítsa magát, s minden társadalmi konven-

ciótól független, anarchikus szabadságban próbálja kiteljesíteni azt, amit feladatának gondolt vagy vélt. A költő, aki a személyes és individuális szabadság állapotát a társadalmon kívül látja (ahogy *A farkasok dala* mondja:

„Fázunk és éhezünk
S átlőve oldalunk,
Részünk minden nyomor...
De szabadok vagyunk!“),

aki a társadalom többi tagjára természetesen le-nézett, s a népnek csak idealizált egyetemességében, nem pedig konkrét történetiségében tulajdonított értéket, a történeti működés során arra kell hogy ráébredjen, hogy vezetési tevékenysége nemcsak hogy nem sikeres, de személyiségromboló is (gondoljunk csak a *Pacsirta*-szót *hallok megint...* fájdalmas panaszára:

„Eszembe hozzák e dalok,
Hogy nemcsak gyilkos eszköz, katona,
Egyszersmind költő is vagyok.“):

a próféta vezetői szerepe ugyanis, ezek szerint, ember- és költészetellenes eszköz-létbe is átcsaphat. E dilemma másik oldalát jelzi persze az is, hogy Petőfi teljesen megkerüli ama kérdést, hogyan is fér össze a „Koldúsból és függetlenség! / Ez légyen jelszavad.“ szubjektivisztikus és aszketikus etikai maximája a „Ha majd a bőség kosarából / Mindenki egyaránt vehet“ gazdagságra alapozott politikai utópiájával (az idézetek a *Ha férfi vagy, légy férfi...* és *A XIX. század költői* című versekből).

Másrészt e prófétai elkötelezettség összeütközésbe kerülhet az individuális életfelfogás teljességre törésével is, s aszketikus jellegénél fogva ama nagyobbak tételezett princípium csorbítását is eredményezheti. Bár egy pillanatra sem kívánom kétségbe vonni, hogy Petőfi számára a magán- és a közélet egésze teljesen nem került soha antinomikus ellentétbe, azt meg kell említeni, hogy a szubjektivista életfelfogás szerepe számára a közéleti (akár prófétikus, akár politikusi) feladatvállalás tehérként is jelentkezik. Ne felejtjük el, hogy Petőfi verseiben, meglepő módon, a hazaszeretet kategóriája többnyire *kínosként* jelentkezik (a *Szomorú éj* szerint: „Ah, nem érem be a magam bajával, / Még te is gyötresz, hazaszeretet!“; a *Miért kísérsz...* című vers munkásnak, az *Elértem, amit ember érhet el...* című vers kínosnak mondja), s a legteljesebb harmónia pillanatában is megmarad a hazaszeretet készítésének elkerülhetetlenül külső jellege. A választás dilemmája hol roppant egyszerűen lesz feloldva (az eseteknek nagy részében), hol komoly számvetés történik a két antinomikus végpont értelmezése körül (mint az említett *Miért kísérsz...* esetében), hol pedig az antinómiák oly erősen szét lesznek feszítve, hogy egyesítésükre aztán semmiféle esély nem marad. Ez utóbbira az alappélda *Az apostol* lehet, melynek szerepkeresése, s nemcsak akkor, ha a cselekményvezetés tragikus iróniáját vesszük figyelembe, több szinten is látványos kudarcot mutat. Ama egyesíthetetlen kettősség, mely Szilveszter sorsát szétfeszíti,

valóban magának a költő Petőfinek a dilemmája. A költő a prófétikus főhősről, modernebb kifejezéssel szólván, az aszketikus forradalmárról beszélván megengedi magának ama brutális kifejezést is, mely szerint Szilveszterben, mikor lelke, beteljesülésre vágyván, Istenhez repült fel: „*az ember meghalt benne, s él a polgár*”, s az apostoli rajongásra adott isteni reakciót is csak annyiban látja, hogy megemlíti, az Isten beleírja a mártírok számára fenntartott könyvbe, mintegy halálraítéltként, Szilveszter nevét (mindehhez még hozzáteendő: Szilveszter valomlását, mondhatnánk, természetesen, „*nem hallotta ember, / De meghallotta oda-fönn az isten*”). E beállítás embertelenül szétfeszített ironikus antinómiája szerint az ember és a polgár szerepe az élet/halál váltakozásnak van megfeleltetve, melynek harmonikus egyeztetése kizáratik – a kétféle szerep összeütközése során „*eltört a lépcső, melyen a / Földről a mennybe járt*” (úgy egyébként, ahogy mindez a mű epikus szerkesztéséből, sokszorosan ironikus szembeállításából is kiviláglik: a szabadságvágyó hős, börtönében, felesége halálát vizionálván, megátkozva Istent és a világrendet, s öngyilkosságot kísérel meg; majd kiszabadulása után, ráébredvén teljes elmagányosodására és elidegenedettségre, kudarcot vallott anarchista terroristaként nyeri el halálát és a nép megvetését).

E nagyon is égető dilemmák az esetek többségében alig vétetnek észre a legerősebb szerepnek, a korlátlan individualitás uralomra juttatásának árnyékában; ám állandóan jelen vannak, s a köztük való választásnak folyamatos szükségét mutatják fel; Petőfi sokszor megengedi magának azt is, hogy ugyanarra a maga által feltett kérdésre kétféle választ is adjon, kétféle művel vagy műfajjal válaszoljon. Költészetére egyébként is jellemző a kettősségeknek felrajzolása, a köztük való választás kényszerének etikai parancsa. Ha csak arra gondolunk, hogy verscímeiben hány alkalommal rajzolja fel valamely princípiumnak kettősségét, elég illusztrációs anyagot találunk a szaggatott világlátás bizonyítására, még akkor is, ha persze tudjuk, hogy a dilemmákra adott válasz nagyon sokszor preformált, s etikailag teljesen egyneműre formált jellegű (csak néhány példaként: *Palota és kunyhó, Csalogányok és pacsirták, Élet vagy halál!, A kutya dala, A farkasok dala, Kard és lánc, Homér és Oszján* stb.). E poláris világlátás, mely, ismeretes módon, történelmileg-etikailag jókra és rosszakra, rabokra és szabadokra osztja fel a világ szereplőit (vö. *Az ítélet, Nemzeti dal* kettősségeit), egészen az apokaliptikus választás kockázatának választásáig is el tud jutni, szinte természetesen vállalván egyszerre a kockavetés külső véletlenét és a végzet kihívásának szubjektív szisztematikus önkényét (pl. a *Jőj el végre, valahára...* soraiban:

*„Jőj el végre, valahára,
Te határozó, te nagy óra...”*

*Dobjuk már el azt a kockát,
Ha feketé, ha fehér lesz!”)*

– s ha nem egy esetben az éppen adott válasz leegyszerűsítését nem is lehet tagadnunk, azt mindenkor el kell ismernünk, hogy a kérdések felvetése igen élesen és

pontosan történt meg. A feloldhatatlan dilemmák folyamatos feszítése s e feszítés kimondása egyébként valószínűleg még erősebben hatott arra, hogy Petőfi még szabadabban vállalhassa önmaga által szabadnak állított individualitásának korlátlanságát, hogy még erőteljesebben állítsa individualitásának magánosságát. Csak két példát idéznék minderre, két olyan versből, melyeket bár közvetlenül egymás után írt a költő 1846 decemberében, kétféle szerep bontakozik ki belőlük, s bár a kétféle szerep ellentmondása nyilvánvaló, mégis összeköti őket a kiválasztott egyéniség öntudatának és szerepének individuális jellege. Az *Egy gondolat bánt engemet...* című vers hatalmas víziója az individualitás értelmes önfeláldozásának nagy gondolatát képviseli, ahol a kiválasztottság a megváltó-szereppel lesz azonosítva: a világméretű individuális halál a külvilág teljes átalakulását eredményezné – a prófétikus jövőbelátás a nagyszabású individualitás etikai távlatait is megszabja (bármily más típusú szerep választását a vers egyértelműen elutasítja). Ám az ugyanekkor írott *Karácsonkor* című vers ezen individualitásnak a kiválasztottságát mint kiátkozottságot éli meg, s a szerep beteljesedését mindenféle jövőtávtól és társadalmi vonatkoztatás nélkül képzei el: a magányos individuum kitaszítottságában önmaga számára is céltalanul, ráadásul vészjóslóan fogja befutni pályáját:

(„Nem nap vagyok én, föld és hold körében;
Mint vészt jelentő üstökös az égen,
Magányos pályán búsan bújdosom”).

*

Befejezésül: irodalomtörténetileg roppant fontos és érdekes kérdés, hogy e Petőfi szerint is szaggatott életmű, e dilemmáktól feszített költészet vajon miért nem kapta meg, legalább részben, mások mellett, az ilyen értelmű interpretációkat is. Egy feltételezést engednék meg magamnak, egészen a korabeli fogadtatásig visszamenőleg. Rendkívül izgalmas irodalomtörténeti tény, hogy a magyar romantika, melynek pedig igazán nagyszabású, szélsőséges alkotásai is voltak, már a maga korában sem kapta meg az őt megillető romantikus igazolását; a magyar romantikának nincsenek kiáltványai, melyek megvédenék és legitimálnák az olyan fantasztikus és természetesen túlcsapongó műveket, mint amilyen pl. a *Csongor és Tünde*, Vajda Péter költészete, Teleki László és Czákó Zsigmond dramaturgiája, a fiatal Jósika és Jókai regényirodalma stb. (Petőfi fentebb idézett előszava, mely fenntartások nélkül vállalja a szaggatottságot, alig tudhat maga mellett néhány párhuzamos ítéletet.) Petőfi költészete, tudjuk, az 1840-es években hatalmas vita során nyerte el helyét és értékelését, ám e nagy vita során is épp ama mozzanat kapta a legcsekélyebb megvilágítást, mely az individualitás központi szerepét és szélsőségeit érintette volna. A népiesség általános kérdései, a filantróp irányzatosság társadalmilag elkötelezett volta, az irodalom politikai szerepvállalása, a korabeli esztétikának és kritikának a „kibékítésre” törekvő irányultsága mind afelé hatottak, hogy még ama költészetben se emeljék ki a radikális individualizmust, melyet pedig anélkül aligha lehetett könnyű értelmezni. Az inter-

pretátorok Petőfi szélsőségeit mindig alárendelték valamely más, nagyobbak tételezett költészeti princípiumnak, s ezáltal csökkentették is súlyát, s a Petőfi-szerepekből általában éppen a Petőfi számára is kevésbé problematikusakat kanonizálták. Az így rögzült Petőfi-kép pedig (most nem elemzendő hosszú és viszontagságos történelmi kálvária során), úgy látszik, képes volt akár a 20. század közepéig-végéig is élélni.

Persze azt se felejtsük el, hogy az interpretációs leegyszerűsítéshez Petőfi maga is hozzájárulhatott azáltal, hogy a dilemmákra éppen adott aktuális válaszait mindig úgy tüntette fel, mintha a leginkább kézenfekvőek lennének. Illusztrációként csak utalnék arra, mennyire érdekes ugyanannak a történelmi szerepnek, ugyanabban a történelmi időszakban való kétféle beállítása, a Petőfi számára legfontosabb napot, 1848. március 15-ét illetően. Míg a *15-ik március, 1848* című versben a rajongó szubjektivista költő a saját dicsősége szempontjából szól a nagy napról, s önmaga szerepét tolja az élre:

(„Egy ilyen nap vezérsége,
S díjazva van az élet...
Napoleon dicsősége,
Teveled sem cserélek!“),

pár héttel később *A márciusi ifjak* című vers már a közösségi szolgálat problémátlannak látott primátusát fogja hirdetni, s az individuum szerepét s e szerep fenségét, azaz a dicsőséget, a nagy közösség feltételezett érdekében, leértékeli:

(„Bárkié is a dicsőség,
A hazáé a haszon!“).

ZENTAI MÁRIA

Az epikus Petőfi

*„Kis házikókra száll lelkem, mint a gólya,
S egyszerű nótákat kerepöl le róla.”*

Akár Karinthy Frigyes is írhatta volna a Szabolcska-paródiában. Valójában Petőfi *Lehel vezér* című töredékben maradt elbeszélő költeményének bevezető részében szerepel, és ironikus idézőjelek nélkül értendő: bemutatkozás és program, része az elbeszélő önmeghatározásának. Meghatározza, kijelöli a közönséget, a befogadói kört is:

*„De hol is kezdjem csak, hogy megértsük egymást?
Mert hát tudnivaló, hogy én itt mostanság
Nem írástudóknak, nem az úri rendnek,
De beszélek szűrös-gubás embereknek.
Hisz az írástudók jobban tudják magok,
Mint én, amiket most mondani akarok.”*

Csak a középső két sort szokták belőle idézni, ami nem meglepő, hiszen a második sor körülményes semmitmondása, az első és az ötödik-hatodik sor színészkedő önlefozkodása olyan elbeszélői magatartást és szemléletet tesz láthatóvá, amely saját értelmi-műveltségi pozíciójánál alacsonyabb rendűnek mutatja, lenézi a megszólítottat, a paraszti közönséget. Petőfi irodalomtudományos arcképén viszont zavaró szépséghiba ez a vonás, többnyire mentegető tónusú mondatok közelítenek hozzá.¹

A leereszkedő modor annál feltűnőbb, minél határozottabban elkülönül a szövegben az elbeszélő hangja. A *Lehel vezér*ben az idézett programadó sorokon túl

¹ Martinkó András pl. Petőfi 1847-ben írott novellái kapcsán találkozik a problémával, és a művek esztétikai minőségét szegezi szembe vele: „Ami alkalmazkodás, leereszkedés, népieskedés van bennük, az eltörpül amellest, ami kitűnő, megkülönböztető és – túlzás nélkül – páratlan a kor novellairódmában.” Vö. Martinkó András: *A prózaíró Petőfi*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1965. 232.

másféle, vérségi, származási kötelékeiről is szó esik, amelyek közönségéhez kapcsolják („Alant születtem én, szalmafödél alatt”), a megszólítások, magyarázatok pedig következetesen kevésbé művelt („De tudjátok-e ti, jámbor atyafiak, / Ki volt a vitéz, kit Árpádnak hítanak?”), csak a paraszti életkörben otthonos („Hej, az vón a kulacs, az vón a tarisznya, / Melyből a bor s kenyér addig ki nem fogyna.”) befogadót céloznak meg. Horváth János azt írja, hogy Petőfi így „sokszor ahhoz az okvetetlenkedő népiességhez kerül közel, amelyet Arany szerint a nép is lealacsonyító-nak érez”.² Ez az okoskodó okvetetlenkedés Petőfinél 1847–48-ban jelenik meg néhány (elsősorban elbeszélő) műben, és összefügg a hevülő politikai légkör látványosan népbarát, felvilágosító-felemelő szándékaival és megnyilatkozásaival.

A kérdés eszme- és politikatörténeti vonatkozásait, bármily érdekesek is, nem elemzi ez a dolgozat. A figyelem középpontjába az irodalmi műnek azt az összetevőjét szeretném állítani, amelyben megnyilvánult e sajátos magatartás: a szövegben megformált elbeszélőt.

*

Arisztotelész definícióját epika és dráma különbségéről, miszerint az eposz költője maga is beszél, és a szereplők is beszélnek, míg a tragédiában csak a szereplők beszélnek, Tzvetan Todorov³ úgy formálja át, hogy a dráma beszélői, a szereplők mind egyenrangú, azonos beszédpozíciót foglalnak el, míg az epikus műben egy beszédpozíció, az elbeszélő elkülönül, más szinten helyezkedik el. Innen szól az elbeszélői hang, érvényesül az elbeszélői nézőpont.⁴

Petőfi epikus műveiben köztudottan hangsúlyos az elbeszélői helyzet és funkció. Már Horváth János leírta ezt a sajátosságot, amelyet ő a költő túláradó lírai jelenlétével magyaráz. Horváth az életrajzi időben kibontakozó fejlődésrajzot alkot, ezen belül Petőfi epikus műveit úgy tekinti, mint az egyes lírai pályaszakaszok összefoglaló kísérőit-befejezőit, így már létrejöttüket is lírai ihletnek tulajdonítja: „Petőfi, mint elbeszélő is, lépten-nyomon azon a ponton áll, hogy azonosítsa magát hősével... [...] ő annyira lyrikus, hogy magától idegent elképzelni csak belső utánzással tud”.⁵ Farkas Gyula ugyanebben a sajátosságban a klasszikus eposz-költéssel szemben felfedezett új minta, a byronias modern elbeszélő költészet hatását látja: „Byron [...] az eposz új fajtát teremti meg. [...] A magyar epikában ezt az új hangot Petőfi üti meg először. [...] Elsősorban lírikus, de mindenütt kiütöző szubjektívizmusa nem írható elbeszélő költeményeinek rovására.”⁶ Martinkó András a prózai műveket, köztük az elbeszélőket is az új és más keresésének, a magyar prózastílus megújításának kísérleteiként olvassa, Petőfi novelláiban a költő szerint „önmagát, a magyar népi világnak legszemélyesebb önmagán át tükröz-

2 Horváth János: *Petőfi Sándor*. Budapest, 1922. 434.

3 Tzvetan Todorov: *Introduction to Poetics*. Brighton, Harvester, 1984.

4 Umberto Eco: *Hat séta a fikció erdejében*. Európa Könyvkiadó, Budapest, 1995. Vö. különösen az *Egy. Bevezetés az erdőbe* c. fejezetet.

5 Horváth János: i. m. 203.

6 Farkas Gyula: *Petőfi nagyobb elbeszélő költeményei és forrásaik*. Eötvös-füzetek. Budapest, 1923. 2.

tetett szubjektív képét adja", „Epikumában [...] az alakkal való azonosulás (illetve személyes ellenszenv), lírai együttérzés, a tárgyi környezet és a jellem (genre) lírai esztétikumának átélése és kifejezése lesz a fő művészi mondanivaló.”⁷ Szegedy-Maszák Mihály az epikum fokozatos szubjektivizálódásáról és ironikussá válásáról beszél, ami *Az apostolban* már „afféle második szólamként társul, s a szöveg egészét átszövi a megírás története”.⁸ Felhívja a figyelmet a *János vitéz*, a *Szécsi Mária*, a *Táblabíró* és a *Lehel vezér* hasonló sajátosságaira is.

A kiragadott értékelések, noha megírásukat sok év választja el egymástól, és a szerzők eltérő irodalomtudományos nézeteket vallottak, abban közösek, ahogyan a szubjektivitás, a szerző és az elbeszélő fogalmát használják. Egészen a posztstrukturalizmus szubjektumellenes, pontosabban a szubjektum történetileg kialakult fontosságát és központi, kezdeményező, integráló, irányító szerepét megkérdőjelező elméleteinek elterjedéséig az irodalomtudomány akkor beszélt szubjektivitásról elbeszélő művek esetén, ha „a szerző közbeszól, kommentálja és megítéli a szereplőket és a tetteket, amelyekről ír”,⁹ személyes, a mű világán kívül is vallott véleményét, álláspontját fejt ki; objektivitásról pedig akkor, ha „a szerző elrejtőzik, látszólag hagyja, hogy a történet mondja magát”,¹⁰ nem nyilvánít személyes véleményt. Az új szubjektumelméletek a szerző hagyományos mindent-integráló fogalmát is megrendítették, a narratológia pedig már régebben, a nézőpont-technika vizsgálata során elkülönítette egymástól a mű szerzőjét és az elbeszélő műben magában nyelviileg megformált elbeszélőt, az elbeszélő hangot. Az idézett Petőfi-szakirodalom viszont a klasszikus irodalomtörténeti gyakorlatnak megfelelően a szerzőt (Petőfi Sándort) azonosítja a művek elbeszélőjével, és erősen szubjektív, a műbe a saját véleményét, érzelmeit is belefoglalma-zó elbeszélőnek tartja. (Az időben legkésőbbi Szegedy-Maszák tanulmány már elmozdul abba az irányba, hogy a szubjektivitást és az ironiát egyaránt inkább a mű nyelvében, mint a szerző személyében keresi, de az említett művek részletes elemzését nem írta meg.)

Irodalomtörténeti nézőpontból tehát Petőfi epikus műveinek közös jellemzője a szerző minduntalan előtörő szubjektivitása.

Mi történik akkor, ha valamelyest elmozdítjuk az előfeltevéseket? Nem lépünk ki a hagyományos irodalomtörténeti felfogás keretei közül, csak annyit teszünk, hogy az epikus művekben megszólaló elbeszélőt elválasztjuk a szerző, Petőfi Sándor személyétől, és az elbeszélő szubjektivitásáról nem akkor beszélünk, ha a műben valószínűsíthetően Petőfi Sándor nézeteit ismerjük föl, hanem akkor, ha olyan nyelvi elemeket találunk, amelyek *személyes jelenlétre* utalnak

7 Martinkó András: *A prózáiról Petőfi*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1965. 235.

8 Szegedy-Maszák Mihály: Világkép és stílus Petőfi költészetében. In: Szegedy-Maszák: *Világkép és stílus. Történeti-poétikai tanulmányok*. Magvető Könyvkiadó, Budapest, 1980. 240.

9 M. H. Abrams: *A Glossary of Literary Terms*. Third edition. Holt, Rinehart and Winston, New York, Chicago, San Francisco, 1971. 115.

10 M. H. Abrams: i. m. 115. (az én fordításom Z. M.) Azért választottam a Cornell nagy hírű professzorának több kiadásban, nagyon nagy példányszámban, évtizedeken át használatban lévő lexikonszerű egyetemi segédkönyvét a probléma illusztrálására, mivel – a könyv céljának megfelelően – a szerző elméleti diskurzusnak a lényegét tömören és egyszerűen a „legnagyobb közös osztóra” redukálja.

(egyes szám első személyű ragok, a szereplők megszólítása, felszólítása stb.), de biztos, hogy *nem a szereplők valamelyike* mondja őket.¹¹ E nyelvi, technikai jellegű szubjektivitás természetesen nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy a szerző személyes véleménye szólal meg benne, de nem is teszi evidenciává.

Petőfi elbeszélő művei igen sokfélék. Nem lehet őket időrendben az írói pálya egy szakaszához kötni, az 1844-es *A helység kalapácsától* az 1848-ban félbemaradt két elbeszélő költeményig folyamatosan jelen vannak az életműben. Műfaji egységről sem beszélhetünk, Petőfi legalább öt különböző műfajjal kísérletezik (regény, novella, vígeposz, ballada, népies és romantikus elbeszélő költemény). Témái, stílusváltozatai egymástól szélsőségesen különböző műveket eredményeznek. Vörösmarty eposzainak részleteit figyelmetlen olvasó akár össze is tévesztheti; de ki gondolna (előzetes irodalomtörténeti ismeretek híján) arra, hogy a *János vitéz* és *Az apostol* egyazon szerzőtől származik? Egységes szemléleti alapon vizsgálni ezeket a műveket nem könnyű. Az egyik lehetőség az irodalomtörténet klasszikus közelítésmódja: egy életmű részei, tehát ha más nem, a szerző személye biztosan összeköti őket.¹² A másik lehetőség abból adódik, hogy elbeszélő művekről van szó, tehát ha minden másban különböznenek is, elbeszélője mindegyiknek van. Az elbeszélő viselkedését, az elbeszélői hangot és perspektívát vizsgálva három csoport látszik elkülöníthetőnek, és korántsem mutatkozik egységes szubjektivitás.

A verses elbeszélő művek számbeli fölénye és általánosabb ismertsége miatt kezdjük velük az áttekintést!

Az első és legszámosabb csoportot az elbeszélő viselkedése szempontjából nem lehet a klasszikus gyakorlattal való szembefordulásként értelmezni. A klasszikus eposzokban a Költő, az Énekes az, aki beszél, aki az isteni segítség és a hagyomány találkozási pontján képes a művet megalkotni. De nem egyformán beszél. A homéroszi és a vergiliusi eposzok *többféle* elbeszélői viselkedést hagynak örökölni; szinte minden később használt változatra adnak mintát. Az *Iliász* mindentudó elbeszélője az invokációban megteremti a történetmondás helyzetét, kijelöli benne saját szerepét, majd háttérbe vonul, saját tevékenységét nem hangsúlyozza,¹³ nézőpontja kívül marad a történeten: ő az elbeszélői objektivitás mintaképe.¹⁴ Az *Odüsszeia* elsődleges elbeszélője hasonlóan viselkedik, ám

11 Michel Foucault szerint ezek a nyelvi jelek az „igazi beszélőre” utalnak: „In the latter [ti. olyan szövegekben, ahol nincs kiemelve a szerző-funkció, Z. M.], such »shifters« refer to the real speaker and to the spatio-temporal coordinates of his discourse.” Foucault: What Is an Author? In: *Textual Strategies. Perspectives In Post-Structuralist Criticism*. Ed. by J. V. Harari. Cornell University Press, Ithaca, New York, 1979. 152.

12 Foucault pontosan ezt tekinti a szerző-funkció egyik leghasznosabb működési területének: „The author is also the principle of a certain unity of writing – all differences having to be resolved, at least in part, by the principles of evolution, maturation, or influence. The author also serves to neutralize the contradictions that may emerge in a series of texts...” Foucault: i. m. 151.

13 A homéroszi formulanyelv ismétlődő szócsoportjait vizsgálva Milman Parry a leggyakoribbak közé sorolja azokat, amelyek beszéd kezdetét, végét vagy választást jeleznek, de jellemző, hogy mindig a szereplők megszólalásáról van szó, nem a narrátorról. Vö.: *The Making of Homeric Verse. The Collected Papers of Milman Parry*. Ed. by Adam Parry. Oxford, 1971. 379. és 404–407.

14 Vö. pl. Northrop Frye véleményét: „With the Iliad, once for all, an objective and disinterested element enters into the poet's vision of human life.” In: Frye: *The Anatomy of Criticism*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1957. 319.

nem szabad elfelejtenünk, hogy a szöveg nem csekély hányadát másodlagos elbeszélőtől halljuk, magától Odüsszeusztól, aki egyszerre hőse és narrátora a kalandoknak, első személyű, belső nézőpontú, szubjektív elbeszélő. Vergilius az *Aeneis*ben az *Iliász* nyomdokain halad, de elbeszélője valamivel hangsúlyosabb szólamot kap, a történethez való viszonya is más. Az invokáció után is hangsúlyozza nyelvi jelenlétét: időnként megszólítja a szereplőket,¹⁵ véleményt, érzelmileg telített kommentárt mond,¹⁶ az invokáció szövegének többszöri variációs ismétlésével újra és újra felhívja a figyelmet saját költői tevékenységére.¹⁷ Olyan elemek kerülnek így a szövegbe, amelyeket a modern kritika a szubjektív elbeszélő fogalmához köt.¹⁸

Petőfi legtöbb epikus műve az iliászi mintától kétségtelenül eltér, de a vergiliusitól nem, hiszen a 20. század kísérleti epikája előtt ez a mindentudó, külső nézőpontú, de szubjektív elemeket is megengedő elbeszélői viselkedés talán a legáltalánosabb verses és prózaepikában egyaránt. Petőfinél a *János vitéz*, a *Szilaj Pista*, a *Szerelem átka*, a *Szécsi Mária*, a *Bolond Istók* elbeszélője ilyen. Viszonylag csendes, többnyire a háttérben marad, pozícióját nem vagy alig változtatja. Birtokos személyragos formák, felkiáltások, a szereplők megszólítása, tehát nyelviileg szubjektív elbeszélőt formáló elemek („Az én Jancsim”, „Jaj neked, Iluska”, „Szilaj Pista, tőled én azt kérdek”, „Te vitéz Barangó, hova oly vágatva?”, „Hogyne, az istenért!” stb.) időnként jelzik a jelenlétét, de csak ritkán hívja fel a figyelmet saját működésére. Ha mégis, akkor az elbeszéléssel, a történetmondással, annak nehézségeivel foglalkozik, tehát a „szakmai énjét” teszi nyelviileg láthatóvá: „Cifra beszéd kéne azt elősorolni”, „Mindent el tudnék én beszélni ékesen, / Csak János vitéznek akkori kedvét nem”, „Hogy ért Veselényi, hogy sem táborába? / Mint tudhatnám én azt, hisz maga sem tudta”, „Most pedig... elmondjam-e, ne mondjam?” stb.

Mindkét megszólalásfajta módosít az elbeszélői pozíción, de ellentétes irányban. A szereplők megszólításával egy-egy pillanatra eltűnik a különbség a történet és az elbeszélés ideje között, az elbeszélő a történeten belülre kerül, szinte szereplő-pozícióba, a történet az éppen most történés valóságillúzióját kelti. Az „elmondjam, ne mondjam” jellegű helyek viszont a jelenlévőnek tételezett közönségnek szólnak, az elbeszélő a lehető legtávolabbra kerül a történettől, hiszen annak megformált szöveg-voltára, irodalmiságára irányítja a figyelmet. A szilárd, rögzített elbeszélői pozíciót kissé ide-oda mozgatják az ilyen részek, de ezekben a művekben a terjedelemhez képest ritkán fordulnak elő, és rövidek. Az uralkodó elbeszélői szólam a történeten kívül álló, azt átlátó és kézben tartó („mindentudó”), csak nagyon enyhén szubjektivizált, folyamatos történetmondás. Nem

15 Pl. „Ó, Dídó, mit is érezhetnél akkor...” IV/408. Lakatos István fordítása. Európa Kiadó, Budapest, 1962. Vagy Kartal Zsuzsa fordításában: „Ezt látván, Dídó, milyen érzés kelt a szívedben, / Hogy sóhajtoztál...” Kozmosz Könyvek, Budapest, 1987.

16 Pl. „Rettenetes szerelem, mire nem viszed emberi lelkünk...” IV/413. (Lakatos ford.)

17 „S most, ó Calliopé, ti segítsétek dalom, esdek...” IX/525., de hasonlóan: VI/204., VII/37., VII/641., IX/77., X/163., XII/500. (Lakatos ford.)

18 A nézőpont művön belüli szubjektivizálása is előfordul: „Homer is presenting the autopsy of the omniscient epic poet. [...] But in Virgil the pluperfects take us into the mind and eyes of Aeneas. It is Aeneas's reaction to the shield which is the heart of the poetry.” D. A. West: Cernere erat: The Shield of Aeneas. In: *Oxford Readings in Vergil's Aeneid*. Ed. by S. J. Harrison. Oxford University Press, Oxford, New York, 1990. 304.

felejtethető el az sem, hogy az elbeszélő nyelvileg láthatóvá tett jelenlétét tartalmazó szövegrészek sokszor az előbeszéd, az orális létmódú költészet késleltető-figyelfelfeltető fordulatait utánozzák, azt a helyzetet, amikor az elbeszélő *mondja*, nem írja a történetet („Nem hazudok, de volt akkora kapuja, / Hogy, hogy... biz én nem is tudom, hogy mekkora.”, „Hogy is kezdjem csak hát?...”, „Hát János vitéznek milyetén sors jutott?”). Ugyanazoknak a szubjektívizáló elemeknek a forrása tehát lehet a modern (byronias) verses epika (mint azt pl. a *Bolond Istók* esetében sokan állítják), de az archaikus hagyomány is (ami a *János vitéz* kapcsán vetődhet föl).

A *János vitéz* elbeszélője a 14. részben átadja a szót hősenek, aki a francia király udvarában elmeséli élettörténetét. Másodlagos elbeszélőre bízni az előzmények ismertetését legalább olyan régi eposzi technika, mint az invokáció vagy a sereg-szemle. A klasszikus mintákban is általában ön-elbeszélésről van szó, a hős a saját történetét mondja, tehát lehet szenvedélyes, indulatos, szubjektív, még az objektív homéroszi epikában is (mint Odüsszeusz vagy a Télemakhoszt tájékoztató Menelaosz). A másodlagos elbeszélő beiktatásával nemcsak az elbeszélői beszédhelyzet és nézőpont, hanem a befogadói pozíció is megkétszereződik: a mű szereplői közönségként, befogadóként viselkednek. Reakcióik bemutatásával az elbeszélő mintát ad arra, hogyan kell a történetet értelmezni. A phaiákok az *Odüsszeiában*, Dido az *Aeneisben* igaznak fogadják el az elbeszélést, hősnek ismerik el a hőst, és segítenek neki. A *János vitézben* az alkalom lakoma, ünnepség a vendégek tiszteletére (mint a klasszikus eposzokban). Jancsi történetmondása és a hallgatók reakciói együttesen adnak értelmezési mintát: születésén, származásán kívül Jancsi csak az Iluskához fűződő viszonyát meséli el, egyéb kalandjaira nem is utal. Számára tehát saját története szerelmi történet, a hallgatóság is annak fogja fel, érzelmi alapú befogadást sugall: „*János vitéz ekkép végzé történetét, / Nem hagyta hidegen a hallgatók szívét.*”

A tényleges olvasó eldöntheti, hogy elfogadja-e a felkínált mintát, vagy más elemeket is figyelembe vesz a saját értelmezésének kialakításakor.

Jancsi történetmondását nyelvileg csak az egyes szám első személy használata különbözteti meg az elsődleges elbeszélőétől. Beszédmódja, világlátása, értékítéletei azonosak vele (Iluska mostoháját pl. mindketten „gonosznak” nevezik), ami segít megtartani a stabil „mindentudó” elbeszélői pozíció és az egységes elbeszélői hang uralkodó hatását. A *János vitézre* és a mellé sorolt művekre ez jellemző.

A következő csoportba mindössze két mű tartozik, a *Salgó* és *Az apostol*. Tragikus hangjukon és valamelyes szövegszerű áthalláson túl az rokonítja őket egymással és különíti el élesen a *János vitéz* csoportjától, hogy más-más módon ugyan, de a szöveg jelentős részében az elbeszélői perspektíva mozgatásával, csúsztatásával, elbizonytalanításával kísérleteznek, ritkábban alkalmazzák a mindentudó elbeszélő gesztusait, inkább a történetet nem ismerő befogadó pozícióját jelenítik meg. Történetmondásuk töredezett, a biztos értelmezés lehetőségét kétségesnek mutatják.

Az *apostol* elbeszélő hangjának egyik legfeltűnőbb sajátossága az elbeszélő és a befogadó perspektívájának sűrű egybemosása. Szegedy-Maszák Mihály szerint Az *apostol* szövegét a megírás története szövi át, megítélésem szerint inkább a be-

fogadásé. Az elbeszélő csak ritkán irányítja a figyelmet a saját írói működésére, a megírásra (pontosan kétszer: „Elmondjam a történetet, / E férfi életét?”; illetve: „Ha jobb kezének erejét / Az én kezembe öntené az isten, / leírhatnám-e úgy is azt a kint...”); ellenben sokkal többször viselkedik úgy, mint az olvasó vagy hallgató, aki nem tudja, mi következik:

„Kik laknak itten?”; „Hol járhat e virrasztó férfi lelke?”; „Elért... elért... / A minden-ség végére tán?”; „Aludt-e s most fölébredett?”; „Mi lelte őt? ki hagyta itt? / Minek van vége?” „Mely alkalom, mely ünnep ez?”; „Ki a gyilkos, ki s hol van ő?”.

Természetesen más kiindulópontból, a tényleges szerző felől szemlélve ezek egyben a késleltetés-feszültségkeltés retorikai eszközei, de az elbeszélő és a befogadó pozícióit tekintve a befogadóra jellemzőek. A mű szövegén belüli gyakori megjelenésük elbizonytalanítja az elbeszélő helyzetét, megfordítja a szerepeket.

Sok műben előfordul egy-egy sor erejéig, hogy az elbeszélő megszólítja a szereplőket, ez a szubjektív elbeszélői viselkedés egyik alapeleme. Az apostol elbeszélője viszont sokszor meghosszabbítja, néha egész jelenetté, de legalábbis többsoros szenvedélyes kommentárrá, lírai betétté növeszti ezeket helyeket, pl.: „Kelj föl, te gyáva zsarnok, / Hisz nem talált a fegyver, / Ruhádba s nem szivedbe / Ment a tévedt golyó. / Az ördög, akinek eladtad, / Megőrzé éltedet. / Kelj föl, te gyáva zsarnok! / S töröld le képedről a port.” Hasonló a „Ki vagy, csodálatos teremtmény...” kezdetű teljes 4. rész, valamint a „Szegény kised te ott a kocsiban...”, a „Hagyjátok őt a holt-tetemre / Borulva sírni...” és a „Boldogtalan nép, mért gyűjtöd fejedre / Az isten átkát...” sorokkal kezdődő, 8-10 sornyira növekvő betétek. Elhúzzák, kiterjesztik az elbeszélőnek a szereplő megszólításával létrejött „kint is – bent is” pozícióját, egymásba csúsztatják a történet és az elbeszélés helyét és idejét, az elbeszélő nézőpontját belsővé teszik annak ellenére, hogy nem azonosítható egyik szereplőével sem.

Néhány helyen az elbeszélő viselkedése csak akkor érthető, ha a történet helyszínén jelen lévő nézőnek tekintjük:

„A lámpa fáradt pislogása mellett
Küzd a homály és fény... az alakok
Mint álmokképek el vannak mosódva
S a félsötétben félig rémlenek.
A mécs világa csalja a szemet?
Vagy e földél alatt lakók mind
Oly halványak valóban...?”

Kinek a szemszögéből vannak „elmosódva”, ki az, akinek a szemében „félig rémlenek”, kinek a szemét „csalja” a mécsvilág? A biztos válasz szinte lehetetlen. A jelenet szereplői láthatják ilyennek egymást, de nem ők beszélnek. Más, a történet szerint, nincs a padlásszobában.

A leginkább zavarba ejtő pillanat az 5. részben, Szilveszter születésének-eldobásának éjszakáján következik be:

*„Népetlen a város... ki járna ily
Időben kinn?...és mégis, mégis ott egy
Élő alak... vagy kísértet talán?
Járása olyan kísértetszerű.
Errébb jön, errébb, már látszik, hogy asszony...*

*Halkan kinyitja a hintó ajtaját,
És lop talán? ellenkezőleg,
Belétesz valamit..."*

Így az láthatja a jelenetet, ezeket a helyhatározókat („errébb”) az használhatja, aki a sötét utcán, valahol a bérkocsi közelében áll. Annak a bérkocsinak a közelében, amelybe az asszony beleteszi a csecsemő Szilvesztert.

Az elbeszélői nézőpont vagy perspektíva ezeken a helyeken a szöveg által teremtett világon belülről kerül. Egyes szám első személyű történetmondás, önelbeszélés esetében ez lenne a szokásos és jellemző módszer, de *Az apostol* nem ön-elbeszélés. Narrátora ismeri és használja is az elkülönülő elbeszélői beszédpozíciót és az annak megfelelő külső perspektívát, de még többször alkalmazza a fentiekben bemutatott megoldásokat, amelyek nemcsak elmozdítják, szubjektivizálják, hanem ezen túl igen nehezen értelmezhetővé teszik az elbeszélői pozíciót. Nem mindig tudjuk, hogy aki beszél, az kívülről vagy belülről szól. Így a történethez fűzött szenvedélyes kommentárok sokasága tartozhat a (nagyon szubjektív, de *kívülről*) elbeszélőhöz, de lehet a befogadást irányító-előíró kód is, amellyel az elbeszélő szereplővé válva mintegy a történeten *belül* előjátssza a kíváncsi, Szilveszterrel és eszméivel rokonszenvező közönségreakciót.

A szereplőhöz vagy befogadóhoz illő viselkedés és beszédmód feltűnővé teszi az elbeszélőt, erősen ráirányítja a figyelmet.

De *Az apostol* néhány részletében az ellenkező véglet is előfordul: az elbeszélő szinte eltűnik, visszahúzódik, elhallgat. A szereplők beszélnek, de ezek nem az előzményeket feltáró ön-elbeszélések, hanem a történetet továbbvivő, részletesen kidolgozott jelenetek. A Szilveszter gyerekkoráról szóló 5–8. részeknek a bevezetőjét a narrátor mondja (helyszín- és helyzetleírások), de az első alak megjelenése és megszólalása után nem sokkal több szerepe marad, mint egy drámában a szerző színpadi utasításainak. A 11. rész 127 sorának több mint fele Szilveszter monológja. A jelenetek szereplőinek a nyelvhasználata, stílusa változatos, és nagyon eltér az elbeszélőétől (ebből a szempontból is különböznek ezek a részek pl. Jancsi elbeszélői működésétől a *János vitéz*ben). Az öreg, részeges tolvaj, a banya, a nevelő, a szerkesztő, maga Szilveszter is a saját szövegüket viszik, mint a drámafigurák. Egyedül Szilveszteré hasonlít az elbeszélőére.

Az apostol elbeszélője különös játékokat űz az olvasóval. Hagyományos, külső perspektívából mond el bizonyos részeket, majd szinte eltűnik az egymással beszélő szereplők mögött, majd a történeten belül lévő szereplőként, majd indulatosan reagáló befogadóként viselkedik, és ezeket a pozíciókat folyamatosan vál-

togatja, hol egyikbe, hol másikba húzódik, saját nézőpontjának folyamatos korrekciójára készítette az olvasót is, ha meg akarja érteni a történetet.

Fölvetődik egy kérdés. Ha *Az apostol* nyelvi-technikai értelemben erősen, néhol szélsőségesen szubjektív elbeszélőjét egyben a másik, életrajzi értelemben is szubjektívnek, Petőfi eszmei szócsovének tekintjük (erre minden okunk megvan), akkor nehéz megérteni, miért bízta a képviselőt ilyen talányos, vibráló, néha erőszakos, néha rejtőzködő, egyik elbeszélői pozícióból folyton a másikba sikló elbeszélői hangra, amely inkább nehezíti, mint könnyíti a megértést, befogadást. Megnyugtatóan bizonyítható magyarázatot nehéz találni. Gondolhatunk esetleg arra, hogy a nagy igényű műhöz a korábbi elbeszélői hangoknál bonyolultabb és modernebb technikát keresett a költő. De lehet, hogy akkor járunk közelebb az igazsághoz, ha a Szilveszteren át kifejezett nagy eszméből való kiábrándulás, a dezillúzió követét látjuk az elbeszélő talányos viselkedésében.

Hasonló talányok a *Salgó*-ban fordulnak még elő. Különleges megoldásai közül az egyik textológiai természetű, és *Az apostol*-hoz viszonyítva érdekes. A Gedő Simont bemutató szövegrész idézetszerűen ismétlődik *Az apostol* elején.

Salgó:

*„Gedővár csendes, mintha halva volna;
Reáborúlt az éj, mint ráborúl a
Halottra a koporsó födele.
Ki virraszt még a késő éjszakán
Gedővár néma falai között?
A szerelem s a hazaszeretet,
Az égnek e két legszebb csillaga.”*

Az apostol:

„Sötét a város, ráfeküdt az éj...

*Egyetlenegy kicsiny fény
Csillámlik ott fenn a magasban
Bágyadtan s haldokolva...*

*Ki virraszt ott e mécs világa mellett,
Ki virraszt ott fenn a magasban?
Két testvér: a nyomor és az erény!”*

Az éj nyomasztó metaforája, a hasonlatokban megjelenő halál, a „Ki virraszt?” kérdés ismétlődése és a válaszban (a hős neve helyett) allegorizáló, elvont fogalompár feltűnése a szövegrészek nagyon szoros egymásra utalását teremtik meg.

A második érdekesség az elbeszélés menetét megszakító 7. rész, amely olyan, mintha a *Felhők* ciklus egy darabja tévedt volna ide az elbeszélő költeménybe.

Tévedésről természetesen szó sincs: dramaturgiaiailag jól kiszámított helyre, az apa- és testvérgyilkosság elbeszélése elé kerül a rövid nyugvópont, a szerelem végtelen, jóra és gonoszra vivő hatalmáról szóló lírai közbevetés. Látszólag szervesen, hiszen az elbeszélő nem is utal a szereplőkre, egy szóval sem magyarázza el, hogy a szerelem bírja Kompolti Dávidot a kettős gyilkosság elkövetésére. Erre a következtetésre, a motiváció kitalálására a történetdarabok és a közbeékelte lírai fragmentum összekapcsolásával önállóan jut az olvasó, vagyis csak akkor érti meg a lélektani folyamatot, ha aktív részesévé válik a történet alakításának. Az elbeszélő kívülállása is megrendül: amit a szerelemről mond, az nyilvánvalóan nemcsak a sötét középkor véres árnyai között igaz. Egy pillanatra eltűnik a biztonságos távolság a szörnyű történet és a történetmondás-olvasás ideje között.

A *Salgó* legkülönösebb pontja a 4. rész. Petőfi nem másodlagos elbeszélőt alkalmaz, hanem „másodlagos nézőt”: a hajnácskói vár toronyőré, ¹⁹ akinek semmi köze a történethez. „Civil” szereplő, olyan beépített befogadó, aki találkozik a történettel, de tudatlan marad a lényegét illetően. Egyetlen funkciója az, hogy lássa, amint éjjelkor a völgyben ellovagol a két Kompolti az elrabolt Perennával. Pontosabban lásson a holdfény derengésében egy lovagot ölében hölgygel, mögöttük egy másik lovagot. Az őt kívülálló, nem tudja, mi történt, nem ismeri föl az alakokat, nem érti a jelenetet, másnap reggel azt hiszi, álmot lát:

*„Olyan tünékeny volt e jelenés,
Hogy a toronynak őre másnap ezt,
Midőn fölébredt, álomnak hívé.”*

Ellentétben azzal a máshol (pl. a *János vitéz*ben) látott helyzettel, amikor másodlagos elbeszélő viszi a szót, és ez többek között a történet hitelesítésére, legitimálására szolgál (a befogadóként viselkedő többi szereplő *elhiszi*), a *Salgó*ban a „másodlagos néző”, a hajnácskói toronyőr nézőpontjának az érvényesítése elbizonytalanítja az elbeszélés státusát, megkérdőjelezi a történet hitelességét, megingatja legitimitását. Az elbeszélő nem állítja, hogy az őt a Kompoltiakat és Perennát látja, ez csak az olvasó következtetése, akinek elmondták az előzményeket. Ám az őt magát nem segíti ilyen ismeret, csakis egyetlen érzékszervi tapasztalás, a látás áll a rendelkezésére. A látvány maga viszont egyáltalán nem tragikus vagy baljóslatú, inkább esztétikus, romantikus, költői:

*„Salgói úton nyargal egy lovag,
Ölében egy hölgy hófehér ruhában
Hollósötét haj lengő fűrtivel.
Mögöttök távol ismét egy lovag...”*

¹⁹ A hajnácskói toronyőr már Horváth Jánosnak is feltűnt, de ő Petőfi egészséges valóságérzékének bizonyítékát látta benne: „Ez egészséges valóság-érzék műve a kiváló negyedik szakasz: megelőzőleg diszkrét átsiklással közölte a férj-ölés és nő-rablás tényét, de a mondott szakaszban a hajnácskói toronyőr szemével végignézi az éjjeli jelenést, a salgói úton rablott nőjével nyargaló lovast. Efféle részletek bennünk is a jelenléte illúzióját keltik.” (Horváth János: i. m. 215–216.)

Az őt tanácstalansága az értelmezés korlátainak metaforája. Összefüggés (kontextus) és közvetítő nélkül, magunkra hagyatva a megértendővel szemben soha nem tudhatjuk, hogy nem a hajnácskői toronyőr szerepét játsszuk-e éppen, aki még azt sem tudja biztosan megítélni, hogy ébren volt-e vagy álmodott. A *Salgó* elbeszélője az epizód után visszatér a hagyományos rögzített nézőpontú történetmondás keretei közé, de a rövid kitérő a más nézőpont és a reflektálatlan, közvetlen tapasztalat „tűnékeny”, az adekvát értelmezést illúzióknak mutató világába az elbeszélésnek egészen különleges lehetőségeit tárja fel.

Ha a *Salgó* és *Az apostol* az elbeszélői pozíciót elbizonytalanító, az olvasót tevékeny részvételre és menet közbeni állandó értelmezésre és újraértelmezésre serkentő technikákkal kísérletezik, úgy elmondhatjuk, hogy a verses epikus művek harmadik csoportjában mindennek az ellenkezőjével találkozunk.

Az apostollal ellentétben ezeket a műveket valóban a megírás története szövi át: elbeszélőjük nemcsak be-beszól a történetbe, mint a *János vitéz*ben, hanem, noha nem szereplő, mégis önálló, határozott karakterű személyiségként viselkedik, aki nemcsak szakmai gondjait, de magánéletét és a világról alkotott véleményét is viszonylag bőségesen tárgyalja, írói-költői működésére lépten-nyomon felhívja a figyelmet, értelmezi is a saját történetmondását, nem sok szabad mozgást hagy az olvasónak. Petőfi pályájának elején és vége felé találjuk ezeket a műveket, *A helység kalapácsa*, *A táblabíró* és a *Lehel vezér* sorolható ide.

A helység kalapácsa az elbeszélő költői nagyságának ecsetelésével indul („Szeretnek az istenek engem, / Rémitő módra szeretnek: / Megajándékoztanak ők / Oly ritka tüdővel, / Mely a csatavészek / Világrengető dúlakodását / Illendően elkurjantani képes”) és zárul is, a feledés setét zsákját felhasogató fényes halhatatlanság-borotva reményével. Megsokszorozott invokáció, a szereplők és a közönség sűrű megszólítása, kommentár, a szövegalkotás folyamatának jelzése, személyes emlékek és bajok telítik a történetet az elbeszélő saját szólamával. Célját tekintve mindez lehet természetesen a klasszikus eposzi hangvétel paródiája, módszerei viszont különlegesen aktív elbeszélői jelenlétet eredményeznek. Petőfi 1844-es verseinek humoros ön-zsánere köszön vissza benne, a Berzsenyi-, Kölcsey-, Vörösmarty-féle emelkedett költőeszmeny lefelé stilizálása, a hétköznapiok, a vulgaritás világa felé.²⁰ Az elbeszélő önnön költői tehetségén kívül hangsúlyozza pénztelenségét („Üres vala az, / Valamint üresek zsebeim / Most, mikor ezt éneklek / Nagy lelkesedéssel / Költői dühömben.”), szerelemvágy gyötri („Szép lyánykái házámnak, / Kiket annyira szeretek én, / Hanem akiktől / Nem nyerek egy makulányi szerelmet”), családi emlékek rohanják meg („Jaj, de mi hangok ezek! / Ezeknek hallata visszaidézi / Tündérhatalommal / Emlékezetembe / Éltem legszebb idejét, / A gyermek-időt.”). Ugyanolyan gondolat- és képficamok, ugyanaz a komikus nyelv veszi célba az elbeszélőt, mint a szereplőket. A tényleges szereplők közül a főhős, Fejenagy az egyetlen, akivel a szövegnek legalább akkora hányada foglalkozik,

20 E kérdéskört ritka alapossggal tárgyalja: Korompay H. János: *A „jellemzetes” irodalom jegyében. Az 1840-es évek irodalomkritikai gondolkodása.* (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1997.) című könyvének Petőfi fogadtatása című fejezete 393–416.

mint az elbeszélő ügyes-bajos dolgaival, a többieknek sokkal kevesebb jut. Ha *A helység kalapácsa* Vörösmarty-paródia, és szövegszerűen a *Zalán futására* utal is, a feltűnővé tett elbeszélő benne Petőfi ön-karikatúrája, az 1844-es versek tematikus idézeteiből összerakva.

*A helység kalapácsa*ban az értelmezés gondjától a *Mutató tábla* kíméli meg a közönséget, aki már előzőleg sem csak beleértett nyájas olvasóként van jelen a hős-költeményben. A megszólítások megformálják mint csupa rokonszenves vonással rendelkező („erős lelkű”, „jószívű”, „szép”) és együttműködésre kész („kíváncsi”) befogadók csoportját. A karakteres elbeszélőhöz karakteres közönség illik. Az előző csoportokból ez az elem hiányzik, de *A helység kalapácsa*ban sincs olyan szűkítés, korlátozás, mint négy évvel később az ebből a szempontból leg-szélsőségesebb *Lehel vezér* szociológiai alapú közönségkijelölése.

A táblabíró és a *Lehel vezér* elbeszélője minden korábbinál céltudatosabb. Határo-zott tanító-nevelő programot akarnak megvalósítani: egyikük a régi jó világhoz kívánja visszatéríteni olvasóit, a másik történelmi ismeretterjesztésre és tudatfor-málásra vállalkozik.

A kötetlenebb verselés helyett visszatér a szabályos felező tizenkettes, páros rí-mekkel ugyan, de párosulva a történetmondás körülményeskedő lassúságával, egészen gvadányias hangulatot kelt. Az elbeszélő mindkét műben a bevezető részt elsősorban önmaga bemutatására használja. *A táblabíró* elbeszélője semmit se bíz az olvasóra, nagyon határozott véleményt formál a világról, és már az *Előljáróbeszéd*-ben közli, hogy azért választotta hősül Fegyveres Tamás urat, mert saját nézetei megtestesítőjének tartja: hozzá hasonlóan haragszik a jakobinus sipkával jelképe-zett haladásra, a „siralmas idők” és az „elfajult világ” elleni panaszuk is közös, bár az elbeszélő (Gvadányihoz hasonlóan) inkább az irodalmi-nyelvi újításokat nehezményezi (ezért ír az újmódi előszó helyett csak azért is „Előljáróbeszédet”), míg Tamás úr ragaszkodása a régi jó világhoz főként abban nyilvánul meg, hogy a házat inkább hagyja összedőlni, mintsem hogy megjavíttassa. Egyformán nehéz helyze-tet jelent nekik az, ha írni kell, ami az elbeszélő esetében a paradoxitás határáig ironi-kus. Az *apostol*ban igyekeztem megmutatni, hogy (Szegedy-Maszák véleményével ellentétben) a szöveget nem a megírás, hanem a befogadás története szövi át; *A tábla-bíró* elkészült része viszont valóban a megírás története is:

„Régi példabeszéd: Nehéz minden kezdet,
De én csak most kezdem tapasztalni eztet.
Amidőn kezdeni kellene dalomat,
Tollnak rágásában gyakorlom magamat.”

Hasonló, esetenként akár több versszaknyira nyúló bevezető előzi meg a ház leírását, a hős külsejének, majd „belsejének” bemutatását és a cselekmény indítá-sát. Az írás nehézsége tükörszerűen ismétlődik a hős első elbeszélt cselekedeté-ben: Tamás úrnak úgy rémlik, hogy levelet kell írnia:

*„Eszébe is jutott nem igen sokára,
Nyilalt az oldala, borsózott a háta,
Káprázott a szeme, izzadt az üstöke,
Kiszáradt gégeje, viszketett a feje.”*

Nemcsak az írás, hanem az olvasás is utálat tárgya elbeszélő és hős számára. Piroska olvasási szenvedélyéről így értesülünk:

*„Ördöggel cimborál! apja is bevallja. [...]
Áldoz a gonosznak... könyvet olvas egyre.”*

A táblabíró szereplőstruktúrája Fáy András novelláira és Kisfaludy Károly vígjátékaira emlékeztet: a vidéki köznemes atya, a háztartást vezető koros vénlány nőrokon és a művelt fiatalok csoportja valószínűleg innen érkezik Petőfi művébe. A másik forrás az 1840-es évek divatos és népszerű műfaja, a divatlapok sztárja: az életkép lehet. A táblabíró és maradi életfelfogását híven kifejező düledező háza a leggyakoribb, számtalan változatban előforduló, de alapelemeiben ismétlődő téma.²¹ Ezek az életképek részint a műfaji szokások miatt, részint azért, mert a műveletlen, makacs táblabíró-figura gyorsan a haladásellenes gondolkodás jelképévé rögzült, többnyire szatirikus élűek, és bőségesen élnek a dicsérve gúnyolás retorikai eszköztárával.

Petőfi a hős, a ház és a falu leírásánál ezt az életképekből ismerős technikát alkalmazza versebe téve, sőt, a módszerből adódó kétélű, kétértelmű vibrálást tovább erősíti a Tamás úrhoz hasonló felfogású elbeszélő alkalmazásával. Így végképp nem lehet tudni, hogy a javallásokat és rosszallásokat, az elbeszélő értékítéleteit egyenesben vagy kifordítva kell-e értenünk.

De elhangzik néhány olyan megjegyzés is, amely valószínűleg nem egyezik Tamás úr nézeteivel, pl.:

*„Ugy kell neked, hazám! mért nem tanítottad,
Iskolába mért nem járattad folyódat?
De hogyan járatnál folyót iskolába,
Mikor ez alig van fiaid számára?”*

Nem valószínű, hogy a táblabíró híve lenne akár a folyószabályozásnak, akár az iskolarendszer fejlesztésének, amit a versszak metaforikusan hiányol.

Az új nemzedék bemutatásánál pedig eltűnik az elbeszélő hangjából a táblabíró perspektíva. Az olvasási szenvedélyt ugyan először ördögi praktikának minősíti, de később a két testvér találkozásának jelenetében már semmi elítélő

²¹ Luchmann Zsuzsa disszertációja (*Az életkép műfaja a reformkori magyar irodalomban*. Szeged, 1998. Kézirat) az életkép-irodalom áttekintése során arra a következtetésre jut, hogy a legtöbb életkép néhány nagyobb tematikai csoportba rendeződik, igen sok bennük az ismétlődő elem. Kiugróan sok életkép tartozik a legnagyobb tematikai csoportba, amely a megyei közelet visszasságait a maradi táblabíró élet- és gondolkodásmódján keresztül mutatja be.

kommentárja nincs Piroska önjellemzéséhez („Milyen gyönyör, hogyha fölnyitom könyvemet! / Mintha nyilni látnám fölöttem az eget.”), Dezsőről pedig rövid idő alatt csupa pozitív tulajdonságot derít ki (mélyen érző, ragaszkodó szerelmes, csöndes, szelíd alaptermészetű, önérzetes is, de képes önmagán uralkodni). A testvérek beszélgetésének nyelvi szintje választékosabb, csiszoltabb Tamás úr nyelviileg is primitív, durva beszédmódjánál. Dezső pl. kizárólag emelkedett metaforákban tud beszélni a szerelméről, míg az atya nyelvhasználatában ördög, gyilkos, hóhér, akasztás szerepel.

A táblabíró önálló alakká formált, maradi táblabíros életszemlélettel felruházott, írni-olvasni nem szerető, dilettáns és magabiztos elbeszélője mutatja a legvilágosabban, hogy a „szubjektív” elbeszélő nem feltétlenül „a szerző nézeteit” képviseli. A 3–4. részben jelentkező változás valószínűleg éppen azért következik be, mert a sajátos elbeszélői hangot és perspektívát Petőfi nem tudta volna fenntartani a terjedelmesebb mű során. Elsősorban a (véltetően) rokonszenvesnek szánt figurák jelentettek problémát, hiszen ők valószínűleg az elbeszélővel és a táblabíróval ellentétes gondolkodásmódot képviselnek, tehát ha következetes az elbeszélő, nekik járt volna a legélesebb szatirikus hang – ugyanakkor valahogyan mégis ki kellett volna bontakoznia szellemi és erkölcsi magasabbrendűségüknek. Fenntartani egy szűkebb látókörű, előítéletes elbeszélő perspektíváját úgy, hogy az általa elmondott történetből mégis meggyőző erővel, önálló értékekkel keljenek életre (mintegy az elbeszélő akarata ellenére) a figurák: ez különleges képességekkel megáldott íróknak is csak ritkán sikerülhet. Petőfi kortársai közül Emily Brontë-nak sikerült az *Üvöltő szelek*ben Nelly Dean alakjával. Petőfi viszont elveszíti a sorok között az első két paragrafusban még oly karakteres elbeszélőjét. Valószínűleg ennek a belátása lehetett az egyik oka a mű töredékben hagyásának.

Hasonló jellegű problémát kellett volna megoldania a dolgozat kiindulópontjával választott *Lehel vezér*ben is. Elbeszélője a saját szerepét az „egyszerű nóták” éneklése („kerekölésére”) korlátozza, befogadói körét a „szűrös-gubás emberek”-re. Martinkó Andrásnak már feltűnt Petőfi novellái kapcsán egy csapda, amely az ilyen szűkített közönség-definícióban rejtőzik: jelentős százalékban írástudatlan lévén, éppen ez a réteg nem lesz olvasója a csak neki szánt műveknek.²² Petőfi novelláit Frankenburg az *Életképek*ben így mutatta be: a költő „illyféle beszélyekkel szándékozik az általa olly forrón szeretett nép erkölcsi és értelmi művelődésére hatni”. 1848-ban Petőfi részt vett *A Nép Barátja* című lap programjának kialakításában: a program egyik pontja „Erkölcsmemesítő mondatok, versek és elbeszélések” közlése. A *Lehel vezér* néhány versszaka ugyan az *Életképek*ben jelent meg, de *A Nép Barátjába* is adott Petőfi néhány írást, így pl. az ún. királyballadák közül a *Kun László krónikáját*. Frankenburg megjegyzése, a néplap programja, a *Lehel vezér*, a novellák és a királyballadák is azt a gyanút keltik, hogy 1847–48. felforrósodó politikai hangulatában az irodalmi népiesség új politikai töltést kap ugyan, de emögött olyan szemlélet és gondolkodásmód támad föl, amely az irodalmi gondolkodásra két évtizeddel korábban volt jellemző. Toldy 1828-ban számolt be

²² Martinkó: i. m. 229.

Bajzának arról, hogy Kisfaludy őt is fel fogja szólítani népdalírássra, mert „plánuma jövő tavasszal egy száz dalból álló gyűjteményt adni népünknek, olcsó áron (egynehány krajcáron), s ez által a népnek nemesebb kézikönyvecskét nyújtani”.²³ A terv csupa jó szándék, de társadalmi és esztétikai felsőbbbségtudatról tanúskodik: a könyvecskére a népdalok helyett lenne szükség, azok magukban nem elég nemesek. A népdal, népmese stb., általában az orális létmódból az írásbeliségbe áttett szövegek kiadásának a hőskorában hosszú ideig, Thomas Percytől Erdélyi Jánosig ügyeltek arra, hogy a „mocskossát és fertelmessét” eltüntessék vagy átírják, de azok a kiadások a művelt olvasónak szóltak. Toldyék terve szerint viszont az irodalomnak felül kellene írnia a népköltészetet, helyére lépni eredeti közegében, nemesítő-felemelő szándékkal. Az 1847–48-as népművelési irodalmi gesztusok tipológiailag ehhez a szemlélethez kanyarodnak vissza, a politikai propaganda és az ismeretterjesztés mellett megfelelő szépirodalommal is el akarják látni a célba vett közönségréteget. Úgy tűnik, az írók különös módon nem bíznak a jó mű esztétikai erejében és lélektani hatásában, hanem speciális darabok készítését tartják szükségesnek. A nép „erkölcsi és értelmi felemelésére” Petőfi is egy magasabb, külső pozícióból törekszik, amit korábban nem deklarált. Legvilágosabban a *Lehel vezér* elbeszélőjének bemutatkozásában látszik ez a program. A nyíltan didaktikus cél egyrészt önkorlátozó poétikát követel („egyszerű nótákat” lehet csak kerepölni), másrészt az elbeszélő önmagánál szellemi és nyelvi tekintetben alacsonyabban álló közönséget formál. Abból indul ki, hogy neki a találkozáshoz le kell ereszkednie, egyszerűsített, redukcionista szemléletet és nyelvet használni. A többi elbeszélő műből ismerős, a megírás nehézségét emlegető fordulat a *Lehel vezér*ben úgy módosul, hogy a problémát a befogadókban keresi: nem képesek megérteni az elbeszélőt: „De hát hol is kezdjem, hogy megértsük egymást?”

Ezért látja szükségét a származás és a hűség bizonygatásának is: „*Alant születtem én, szalmafödél alatt, / Sohasem tagadom meg származásomat.*”

Kevésbé kifejtett módon, de a királyballadák is hasonlóan egyszerűsített elbeszélői helyzetet és didaktikus beszédmódot mutatnak. A *Bánk bán*, *A király esküje*, a *Kun László krónikája*, a *Kont és társai*, a *Dobzse László* egyaránt egyetlen cél, a királyellenesség hirdetése érdekében íródtak, mintegy kiegészítve a *Lehel vezér* tanítását, amely a királyság előtti időt, a fejedelmek korát magasztalja fel.

A *Lehel vezér* A táblabíróhoz hasonlóan töredékben maradt. A félbehagyás okai között ott sejtem azt is, hogy az önkorlátozó elbeszélői hangot legalább olyan problematikus lett volna a mű végéig fenntartani, mint A táblabíró elbeszélőjének ökonzervatív nézőpontját.

Petőfi négy prózai elbeszélő műve négyféle megoldást mutat az elbeszélő szempontjából. A *szökevények* nemcsak társasági, hanem társalgási novella, leginkább a szereplők beszélgetéséből derül ki, mi történt. Néhány mondatnyi megszólalásakor az elbeszélő kívülállónak, mindentudónak és enyhén ironikusnak mutatkozik.

²³ Bajza József és Toldy Ferenc levelezése. Sajtó alá rendezte Oltványi Ambrus. Budapest, 1961. 397.

A hóhér kötelében mindennek az ellenkezője látható. Első személyű elbeszélés, önálló személyiségű, megformált elbeszélője Andorlaki Máté, a történet hőse. Ő idézi a többi szereplő szavait és további elbeszéléseit is, az ő perspektívája érvényesül az első szótól az utolsóig. Csak a cím és a bibliai mottó esik kívül ezen a beszédhelyzeten, pozíciójuk bizonytalan. Ez az elrendezés az éregény jellegzetes elbeszélési módja, monológ- és vallomásszerű, magába záródó: „*El fogja-e valaki olvasni tudni életem történetét, mit e reszkető kézzel akarok leírni? [...] talán jobb, ha olvashatatlan lesz, mert az iszonyú!*” Az elbeszélő többször is figyelmeztet, hogy szerkeszti a cselekményt, kihagy, kiemel, összevon, hangsúlyozza, hogy nemcsak szerkesztője, hanem írója is a történetnek: „*E búcsú!... de nem írom le*”.

Az éregényekben sokszor szokásos legitimáló keret (valaki megtalál egy naplót, elolvas vagy meghallgat egy vallomást) hiányzik, a leírás oka és célja egyaránt homályban marad, így az olvasónak nincs fogódzója annak az eldöntésére, hogy minek olvassa a történetet: Andorlaki Máté élettörténetének (amit állít), Andorlaki regényének (hiszen hangsúlyozza, hogy ír), esetleg az örült Andorlaki fantáziálásának (hiszen nincs hozzá képest külső pozíciójú beszélő, aki legalább közvetetten megerősítené valamelyik lehetőséget).

A regényben tehát sikerült Petőfinek végigvinnie az önálló személyiségű elbeszélői hangot. Szempontunkból mellékes, hogy esztétikailag mennyire volt szerencsés ilyen szélsőséges, torzult személyiséget választania; Martinkó András nagyon alaposan foglalkozott ezzel a kérdéssel. Andorlaki mint elbeszélő értelmezi is a saját történetét (bosszú), ennek ellenére az olvasó előtt tágra nyitva maradnak az értelmezés lehetőségei, hiszen az egész szöveg státusza bizonytalan (nem mindegy, hogy memoár vagy agyrémeket olvasunk). Ezek a sajátosságok, akár tudatosan alkalmazta Petőfi, akár nem, az elbeszéléssel való igen merész kísérletezésre vallanak.

A nagyapa egyike azoknak az elbeszéléseknek, amelyekre Frankenburg korábban idézett megjegyzése vonatkozik. Létrejöttét részben népnevelő szándéknak köszönhetné, de magában a szövegben ez nem jelenik meg olyan durván, mint a *Lehel vezér*ben. Nem jelöli ki a közönségét sem, inkább mintát mutat arra, kiknek szól a tanítás a hűség, kitartás, szorgalmas munka árán elérhető patriarchális családi boldogságról. A nagyapa, Pergő Péter, unokáinak és a fiatal cselédeknek, tehát a következő paraszti nemzedéknek, a fiatalságnak mondja élettörténetét. A történet keretbe illeszkedik, amelynek elbeszélője megteremti a helyszínt és történetmondó helyzetbe hozza a hőst. Technikailag ez a legnagyobb különbség *A hóhér kötele* szintén saját történetét mondó elbeszélője és *A nagyapa* között: a keretelbeszélés legitimálja Pergő Péter történetét. Nemcsak a hős másodlagos elbeszélői funkciója, hanem néhány más megoldás is a *János vitéz*-féle csoportra emlékeztet. A keret elbeszélője megszólítja a hőst, átbeszél a keretből a cselekménybe: „*Egy sem boldogabb kegyelmednél, Pergő Péter uram!*” A két elbeszélő szövege nehezen különíthető el: a világról elárult nézeteik megegyeznek (a hős boldognak és elégedettnek vallja magát, az elbeszélő szerint is az a boldogság, ahogyan ez a család él), a nyelvet többnyire azonos stilisztikai szinten használják

(a keret-elbeszélő mondata pl: „Azt Panninak, emezt Ferkónak hitták”; a lány mindkettejüknek „kislány” stb.).

Petőfi prózai elbeszélő művei közül a kritika általában *A fakó leány és a pej legény* című novellát tartja a legjobbnak. Elbeszélője állandó, rögzített pozícióban marad a történet során, nézőpontját nem változtatja, mindent tud szereplőiről és környezetükről. A novella elején tesz néhány szubjektív kitérőt („Hála istennek, ezek az idők már lejártak, s én úgy elfelejtettem az ivást, mintha soha nem is tudtam volna”), jelzi, hogy történetet mond („De az elején kezdem.”, „Amint mondtam,...”), de aztán a háttérbe húzódik. Csigolya Márton lánykérésekor több oldalon át egyenesen eltűnik, a jelenet Márton és Bíró Julcsa beszélgetéséből bontakozik ki. Szóhasználatából, az értéktételek, érzelmi viszonyt érzékeltető rétegből látható, hogy Mártonban és Sáriban rokonszenves hősöket kíván bemutatni, mondhatni, az ő pártjukon áll a gúnyolódó, előítéletes falusiakkal szemben, de nézőpontja nem keveredik össze a szereplőkével. Erre az elbeszélői magatartásra szokás azt mondani, hogy klasszikus mindentudó elbeszélővel van dolgunk.

*

Petőfi epikus műveit az elbeszélő szempontjából áttekintve rendkívül változatos összképet kaptunk. Legnagyobb számban a hagyományos auktoriális technikára találtunk példát, alapvetően külső és rögzített nézőpontú, mindentudó, de a háttérben maradó elbeszélővel, aki saját jelenlétére és történetmondó tevékenységére csak viszonylag ritkán hívja fel a figyelmet a szereplők megszólításával, vélemény- vagy érzelemnyilvánítással. A verses művek közül a *János vitéz*, a *Szezelem átka*, a *Szilaj Pista*, a *Szécsi Mária*, a *Bolond Istók*, a prózából *A szökevények* és a *A fakó leány és a pej legény* című novella tartozik ide. Ettől az alaptípustól kettőfelé mozdul el a többi mű. Az egyik lehetőség a megformált, önálló személyiséggel felruházott elbeszélő alkalmazása, az elbeszélői hang felhangosítása. Belső nézőponttal párosítva *A hóhér kötelében* önelbeszélés jön létre, vagyis alapvetően hagyományos éregény, még ha Petőfi tesz is egy-két lépést a magabiztos besorolás megingatására. Szokatlanabb a megformált személyiségű, de nem-szereplő elbeszélő, külső nézőpontú, de sajátosan szubjektív történetmondásával: *A helység kalapácsa*, *A táblabíró*, a *Lehel vezér*. Ezek az elbeszélők a történet értelmezését is maguknak tartják fenn. A másik irányban viszont az elbeszélői jelenlét elbizonytalanításával találkozunk *Az apostol* vagy a *Salgó* esetében. Az elbeszélőről nem mindig lehet tudni, hogy kívül vagy belül van-e a történeten, állandóan változtatja a nézőpontját, időnként befogadóként viselkedik, illetve a *Salgó*ban megjelenít egy olyan nézőpontot is, ahonnan lehetetlen értelmezni a történetet.

A nagyapa című novella keretelbeszélője a hagyományos auktoriális módszert képviseli, míg a tulajdonképpeni történetet megformált, belső nézőpontú elbeszélő, a főszereplő mondja el. A királyballadákban az erős didaktikus szándék miatt az auktoriális módszer közeledik a megformált elbeszélőre jellemző önálló elbeszélői szólamhoz, különösen a szövegbe beépített értelmezés révén.

Szempontunkból tehát nem mutatkozik e művekben túlaradó, egyéni személyesség. Döntő többségükben Petőfi a kor irodalmában legáltalánosabban elter-

jedt, verses és prózai művekben egyaránt leggyakrabban használt technikát alkalmazta: a mindentudó auktoriális elbeszélőt, aki bele-beleszól a történetbe. Az elbeszélői jelenlét, az elbeszélői nyelvi magatartás szubjektivitásának mértéke megfelel e technika más szerzőknél is megszokott gyakorlatának.

Nem kevésbé megszokott módszernek tekinthető a belső nézőpontú önelbeszélés, az énregény hagyományos formája, amely szubjektív ugyan, de szubjektivitását nem lehet különlegességgént Petőfi számlájára írni, mivel magából az elbeszélésmódból következik.

Az a néhány mű viszont, amely nem illik egyik csoportba sem, nemcsak és talán nem is elsősorban az elbeszélői szubjektivitás fokát illetően különleges. A nézőpont elmozdítása, a történeten kívüli és belüli nézőpont váltogatása, egymásba hajlítása, az elbeszélő pozíciójának mozgatása, csúsztatása a mindentudó és a szubjektívre korlátozott-szűkített között, az elbeszélői nézőpont és az értelmezés közötti kapcsolat szélsőségeinek a megjelenítése (egyik végponton az elbeszélő értelmezési mintát is ad az olvasónak, a másik végponton az értelmezés lehetetlenségét állítja) olyan dinamikus elbeszélői modellekkel való kísérletezésről tanúskodnak, amelyeknek a rögzített, állandó (akár belső, akár külső) elbeszélői pozíciótól való elszakadás a legfőbb jellemzőjük. Az *epikus* Petőfi ezekben a kísérletekben váltja valóra leginkább a „*Haladni, merre más még nem haladt*” költői programját.

KÖPECZI BÉLA

A franciák Petőfije

L ehet-e ma a franciák Petőfijéről szólni? Ha egy francia az iránt érdeklődik, ki volt Petőfi, a Kis Larousse-ban a következő szöveget olvashatja: „... magyar lírikus költő, aki Kiskőrösön született, az 1848/49-es magyar forradalom és hazafias harc hőse”.¹ Ha részletesebben is érdeklődni akar, akkor megtudhatja – mondjuk, a Pléiade *Világirodalom-történetéből*, mégpedig egy magyar szerző tollából – életének és költészetének főbb jellemzőit.² Ugyanezt a szöveget veszi át *A romantika enciklopédiájában* egy francia szerző, Francis Claudon, aki az életrajz mellett kiemeli költészetének népi jellegét, hangsúlyozva „spontaneitását, bátorságát, naivságát, militáns szellemét, amely a retorikát ellensúlyozza”.³ A többség tehát a Larousse-ból vagy az ismeretterjesztés adataiból kap képet Petőfiről és költészetéről. Az igazság az, hogy a szélesebb francia olvasóközönség elsősorban az amerikai és angol, kisebb mértékben a német, olasz, spanyol, orosz irodalom iránt érdeklődik, s csak kevesen a kis népek alkotásai iránt. Az ilyen irodalom iránt az érdeklődés kiemelkedő politikai esemény vagy egy olyan irányzat, műfaj vagy stílus keretében merül fel, amely a francia értelmiség számára is újat jelent.

Az első időszak, amelyben a francia irodalom felfigyel Petőfire, a múlt század ötvenes, hatvanas és hetvenes évei.⁴ A német stúdiumokkal foglalkozó és a Közép- és Kelet-Európa iránt érdeklődő Saint-René Taillandier 1851-ben K. M. Kertbeny német fordításai alapján hívja fel rá a figyelmet a *Revue des deux mondes*-ben, ahol a János vitézről ír, és később Teleki László segítségével néhány Petőfi-

1 *Petit Larousse*. Paris, 1959. 1606.

2 *Histoire des littératures*. R. Queneau szerk. II. Paris, 1956. 1330–1331. P. Barkan szövege.

3 *Encyclopédie du romantisme*. F. R. Claudon és mások. Paris, 1980. 320.

4 Turóczi-Trostler József: Magyar irodalom – Világirodalom II. *Petőfi a világirodalomban*. Bp., 1961. és *Petőfi belép a világirodalomba*. Budapest, 1974. Főleg a német visszhanggal foglalkozik. – *Petőfi a világirodalomban*. Endrődi Sándor és dr. Ferenczi Zoltán kiadásában. *Petőfi-könyvtár*, XVII. és XVIII. füzet. Bp., 1911. Ebben Kont Ignác: „Petőfi a franciáknál.” Részben innen meríti Radó György: „Petőfi et les Français” című tanulmányát, amely a *Nouvelles Études Hongroises* 1974- és 1976-os számában jelent meg Petőfi francia értékeléséről és néhány Petőfi-költemény fordításáról.

verset fordít.⁵ 1855-ben az ugyancsak németül tudó, a finn és az észti irodalom iránt is érdeklődő Thalès Bernard Kertbeny közvetítésével tolmácsolja költeményeit. 1856-ban Hypolite Valmore jelentett meg prózai fordításban egyes verseket, s ezeket 1871-ben Újfalvy Károllyal együttműködve kiegészíti. Végül 1857-ben Charles-Louis Chassin a *La libre recherche* című folyóiratban méltatja a költőt, és 1860-ban kiadja a *Le poète et la révolution hongroise: Alexandre Petőfi* címen terjedelmes munkáját, ismertetve életét és lefordítva mintegy száz költeményét a franciaországi magyar emigráció segítségével.

Mi magyarázza ekkor a Petőfi iránti franciaországi érdeklődést? Nem jelentéktelen a német irodalom és Kertbeny fordításainak hatása, de az érdeklődés a korábbi franciaországi helyzettel is magyarázható. Akkorra már megszilárdult III. Napóleon uralma, és azok, akik vele szemben álltak, ellenszert kerestek, így Petőfi forradalmiságát és népi költészetét. Ez különösen áll Chassin-re, aki még 1859-ben Irányi Dániellel együtt kiad egy könyvet *Histoire politique de la révolution en Hongrie* címen, amelynek folytatása a Petőfi-könyv. A szerző így mutatja be könyvét tanítójának, Edgar Quinet-nek: „A Petőfiben a magyar háború egész forradalmi oldalát állítottam előtérbe, s ebben megtalálja nemcsak a költőt, akit Saint-René Taillandier ismertethetett meg Önnel, de ezen túl a magyar demokrácia hőst is.”⁶ Quinet vele együtt Petőfi *Csatadaláért* lelkesedik, s ez jelzi mindkettőjüknek a „kis Bonaparte”-tal szemben álló irányzatát.

Bernard az *Histoire de la poésie* 1864-ben megjelent munkájában Chassin szemére veti, hogy a szerző „a szabadság eszméjétől vezettetve”, Petőfinek „túl jelentős politikai szerepet igyekszik tulajdonítani, és másrésről nem ismerteti kielégítően Petőfit, mint lírai és elégikus költőt”.⁷ A szemrehányás részben jogos, bár hangsúlyozni kell, hogy Chassin, aki a párizsi kommun idején mint utópista szocialista részt vesz annak harcaiban, Petőfi egész líráját ismertette.

Ebben az időben a francia szerzők elismerik, hogy Petőfi „a lírai inspiráció mesterei közé” tartozik, vagy hogy „a világirodalom egyik nagy alakja”. Ebben szerepet játszik az a törekvés is, hogy a romantikától eltávolodva, Petőfit a népi költészet megteremtőjének tartják. Saint-René Taillandier a *János vitézről* mint „népi eposzról” beszél, és olyan vonásokat emel ki, mint az őszinteség, a spontaneitás, a naivitás és a népi mítosz.⁸ Bernard szerint Petőfi „a nép költője”, aki „nem tett egyebet, mint hogy újraélesztette a népköltészetet változatosabb és elegánsabb formában, bár tárgyait saját maga képzelel”.⁹ A költőt Béranger-hoz hasonlítja, akitől Petőfi fordított, és akit mint a forradalmak és a szegények szószólóját tisztelt. Kifogása egy van: a költő műveiben nem található meg a valódi vagy filozófiai emelkedettség, amely a nyugat-európai poézist jellemzi, ezt

5 Az 1910-ig megjelent köteteknél Kont tanulmányára hivatkozom és a fordítókról készült magyar tanulmányokra: Szabó A.: *Saint-René Taillandier*. Pécs, 1938.; E. Virányi.: *Thalès Bernard et la littérature populaire estonienne et finnoise*. Tartu, 1928.; Ch. Molnár: *Charles-Louis Chassin: Historien français de la Hongrie*. Debrecen, 1938.

6 Molnár: i. m. 44.

7 Th. Bernard: *Histoire de la poésie*. Paris, 1864. 682.

8 *Revue des deux mondes*, 1860. ápr. 15.

9 Bernard: i. m. 686.

azonban Petőfi korai halálával magyarázza. Az igazság az, hogy Bernard nem ismerte sem a *Felhők*, sem *Az apostol* Petőfijét.

A kérdés ezek után az, hogy Franciaországban ebben az időben lehetett-e a népköltészethez fordulni. A válasz negatív, a francia költészet Théophile Gautier és Leconte de Lisle antikizáló Parnasse-a felé fordult, még ha Baudelaire, Rimbaud vagy Verlaine más szinten és más formában keresték is a modern világgal a kapcsolatot. A francia népköltészet a reneszánsz óta nem befolyásolta a művelt francia lírát, még ha befolyása érvényesült is.

A „magyar-francia barátság aranykorában”, tehát 1879 és 1889 között, ahogy Lelkes István ezt a korszakot nevezte¹⁰, a Franciaországból hazatért magyar emigráció és egyes francia értelmiségi körök ünnepelt hőse Petőfi lett. 1885-ben, amikor egy francia küldöttség meglátogatta az országot, a Petőfi-szobornál François Coppée elmondja az ő tiszteletére írt költeményét, amelyben őt a „haza nagy fiának” és „a szerelem és a szabadság költőjének” nevezi.

Az Osztrák–Magyar Monarchia németbarát politikája hamar szembeállítja azonban a magyar politikát a francia értelmiséggel, amely a magyar társadalom konzervatív vonásait emeli ki, és elítéli az országban kiéleződő nemzetiségi ellentéteket, mégpedig az utóbbiak javára. A Monarchia részvétele az első világháborúban, majd a trianoni béke növeli a szembenállást mindkét országban, annak ellenére, hogy a magyar értelmiség egy része továbbra is tartja a kapcsolatot a francia irodalommal és művészettel. Közben megjelennek Petőfi-versek, és többször kiadásra kerül a *János vitéz*, de jórészt kevésbé ismert fordítóktól és kis visszhanggal.¹¹

1945 után Petőfi ismét érdeklődést vált ki Franciaországban. Jacques Gaucheron 1949-ben, Petőfi halálának 100. évfordulóján jelenteti meg a *Poèmes révolutionnaires* című kötetét, a költő forradalmiságát hangsúlyozva. Idekapcsolódik a szürrealizmus és a francia ellenállás költőjének, Paul Éluard-nak *Emlékezésére*, amelyet az egykori barát, Illyés Gyula fordít magyarra, és amelyben ő felidézi Petőfi harcát és költészetét, mint amelyet magáénak tart az új Magyarország.¹² Néhány évvel később, 1954-ben jelenik meg Guy Turbet-Delof fordításában egy újabb *János vitéz*, *Jean le Preux* címen, értékes jegyzetekkel.

Ismét eltelik néhány esztendő, és 1962-ben a jeles költő, Jean Rousselot kiadja francia fordításban Illyés Gyula *Petőfi*-könyvét. Ekkor következi be az a nagy változás is, amelyet Gara László szívós munkája készít elő, és amelynek eredményeként ebben az évben kerül kiadásra a Seuil gondozásában az *Anthologie de la poésie hongroise du XII^e siècle jusqu'à nos jours* című munka. Az *Antológia* újat hozott a francia fordítási irodalomban: a francia költők magyar közvetítők segítségével arra törekedtek, hogy ne prózai fordításokat közöljenek, hanem megőrizték a versek tartalmát és eredeti formáját. A kötetben néhány Petőfi-vers is szerepel a már említett Rousselot, a nemrég elhunyt Guillevic és Anne-Marie de Backer fordításában.

10 Lelkes István: *A magyar-francia barátság aranykora*. Bp., 1933. 219.

11 Vö. I. Kont: *Bibliographie française de la Hongrie*. Paris, 1913. ill. Toulouse kézirat bibliográfiáját.

12 Illyés Gyula fordítása a *Francia költők antológiájában*. Bp., 1958. 644–645.

A Corvina Kiadó a költő születésének 150. évfordulója előtt, 1971-ben Rousselot bevezetőjével és összeállításában megjelentette Petőfi *Poèmes* című fordításait, amelyekben a közben elhunyt Paul Chaulot, Michel Manoll és Rousselot „adaptációit” közlik Kassai György és Kaczander Frigyes prózai fordításai és szövegösszevetései alapján. Rousselot bevezetőjében, Illyés *Petőfi*-könyvére utalva, összefoglalja az élettörténetet, és hangsúlyozza, hogy a költő „a nép énekese, a forradalom hőse és az egyetemes felszabadulás apostola”. A *népi költőt* emeli ki, de nem a III. Napóleont dicsőítő Béranger-hez hasonlítja, hanem Burnshöz, Jeszenyinhez, Lorcához, akikkel „az irodalmi tér egybeesik a népi térrel”, s akik „nem bazár- vagy muzeális népiességet” képviseltek. Nála Nerval is előfutár, akinek egyes írásai megegyeznek Petőfi mindennapiságával. Ami a fordításokat illeti, úgy látja, hogy a francia fordítók „visszaadták Petőfi magyar mondattanának és szókincsének hangjait és színeit, nem túlságosan méltatlan megközelítésekben és főleg úgy, hogy megjelenítsék ennek a költészetnek lendületét, amely egyszerre álmodozó és rusztikus, családias és erőteljesen lírikus, szatirikus és eksztatikus, legendateremtő, militáns és harcoló, amely nem a műfajok megosztásának fogalmára és a l’art pour l’art kibúvóira hivatkozik, hanem teljesen és egészében testvéri módon részt vesz az ember világában, és hatni akar erre a világra, hogy jobb legyen.”¹³

A 150 éves évforduló lehetőséget ad arra is, hogy az *Europe* című folyóirat kiadjon egy kötetet, *Petőfi és a mai Magyarország* címmel, amely tanulmányokat, verseket és prózai írásokat jelentetett meg. Ekkor látott napvilágot franciául, németül és egy évvel később angolul is a Corvina kiadásában a *Révolté ou révolutionnaire* című, Petőfi prózáját és ehhez kapcsolódó költeményeit bemutató kiadvány saját bevezetőjével. Elképzelésem az volt, hogy a prózán keresztül ismertetem Petőfi mindennapjait és gondolatait, így közvetlenebb kapcsolatot teremtve a mai világgal.

Ekkor jelent meg az UNESCO támogatásával és ugyancsak a Corvina kiadásában, Lukácsy Sándor szerkesztésében a *L’irréconciliable: Petőfi, poète et révolutionnaire* című kötet magyar tanulmányokkal és francia versfordításokkal Aurélien Sauvageot bevezetésével. Sauvageot ismerteti Petőfi életének főbb eseményeit, és mint nyelvész, szól a nyelvről is, de külön kitér franciaországi ismertségére. Ezt állapítja meg: „Csak kevés francia ismeri Petőfi Sándor nevét, a franciaországi közönség kevésbé ismeri őt, mint pl. 1870-ben.” Petőfi francia orientációjával, kapcsolataival összefüggésben felteszi a kérdést: „Nem a mi eszméinkből táplálkozott-e, nem tisztelte-e 1789 »nagy elveit«, melyek két évszázadon keresztül irányították lépéseinket és reményeinket?” Eszébe jut Karinthy Frigyesrel folytatott beszélgetése, aki elmondta: „Amit nem tudok maguknak, franciáknak megbocsátani, az a lenézés vagy közömbösség, amellyel bennünket körülvesznek. Mit mondjon az ember, ha a franciák azt sem tudják, hogy ki volt Petőfi?” Ehhez Sauvageot hozzáteszi: „Járuljunk hozzá ahhoz, hogy a franciák többsége megtudja e könyvből, ki volt Petőfi.”¹⁴

13 Sándor Petőfi: *Poèmes*. 31.

14 *L’irréconciliable*, 13.

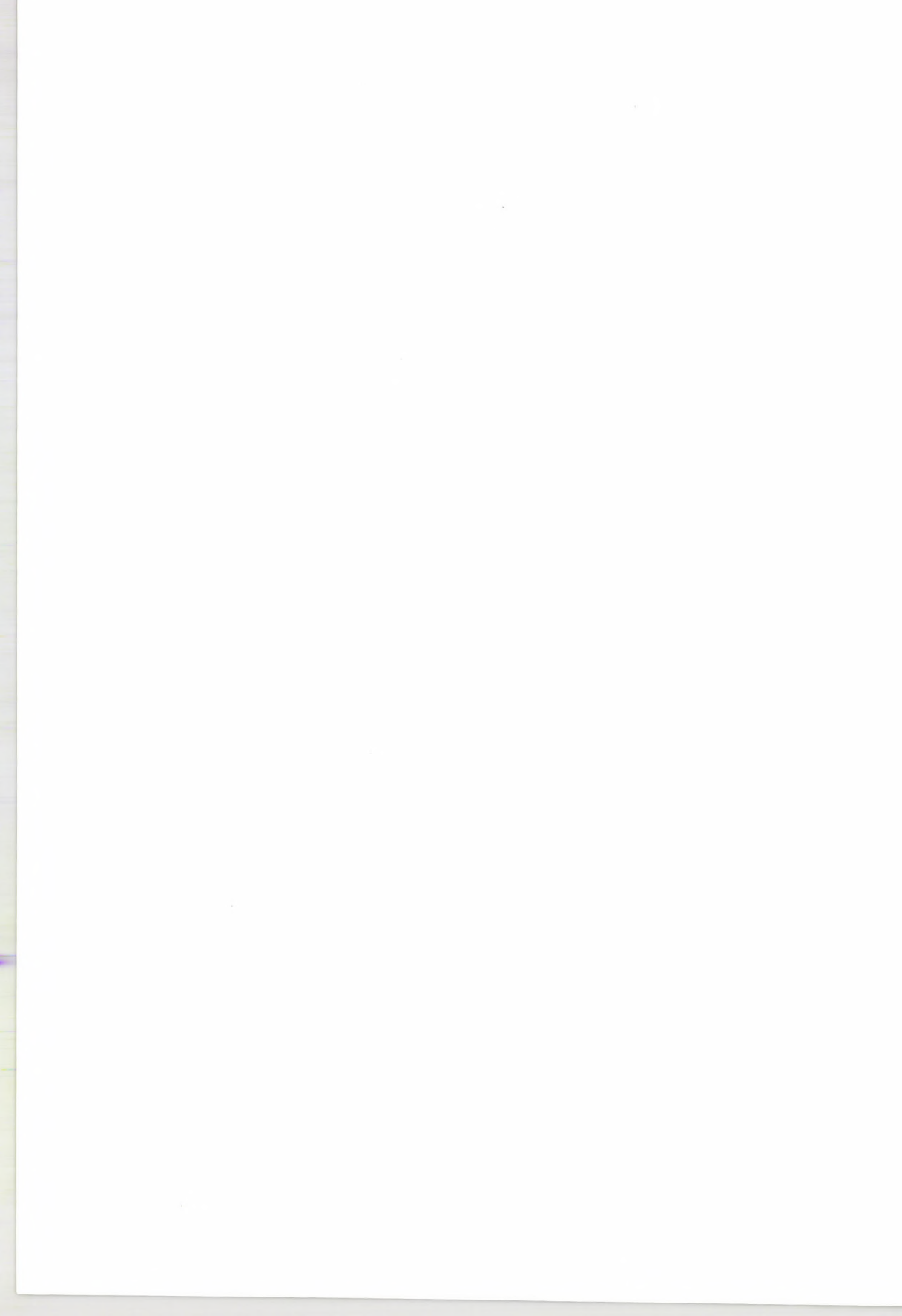
Emlékezzünk: 1973-ban vagyunk, amikor az 1968-as párizsi események után még él az érdeklődés a forradalmi ideológia képviselői iránt, s a boltokban még keresik az erről szóló könyveket. Persze nem sokáig, hiszen sokak szerint ekkorra már megbuktak az ún. méta-récit-ek, tehát a különböző ideológiák.

A Petőfi iránti érdeklődés utolsó franciaországi megnyilvánulása *Az apostol* Jacques Gaucheron húsz év alatt elkészült fordításában, amely 1975-ben jelent meg a Corvina és az Éditeurs Français Réunis kiadásában rövid bevezetőmmel. A visszhang „tiszteletbeli siker” volt.

Sauvageot óhajtása, hogy a franciák többsége megtudja, ki volt Petőfi, ma sem teljesült. Az érdeklődők viszont szívesen lapozhatják a jeles francia költők fordításait, amelyek újat hoztak a francia tolmácsolás történetébe, még ha az említett francia nyelvész, Sauvageot „túlírtnak” nevezett is egyes fordításokat.¹⁵ Ez a változás kétségtelenül újat jelentett Petőfi franciaországi befogadásában, s talán nem kevés francia olvassa el az idén elhunyt Eugène Guillevic fordításában a *Szeptember végén* első sorait:

*„Le val est riche encore des fleurs de ses jardins
Et vert le peuplier dans la fenêtre ouverte...”*

15 A. Sauvageot: Traduction française de la poésie hongroise. *Nouvelles Études Hongroises*, 1971.



SZATHMÁRI ISTVÁN

Petőfi nyelvi hatása

1 Barta János, a kiváló irodalomtörténész alighanem joggal írta huszonöt évvel ezelőtt, Petőfi születésének 150. évfordulóján, hogy a magyar irodalomnak két költő-forradalmára van: Petőfi és Ady. Ők radikálisan újat hoztak a költészet funkcióját, az esztétikumot stb. illetően, mégpedig oly mértékben, hogy semmilyen szabályos fejlődési láncolatba nem lehet őket beiktatni. (Barta, 1975:44–46.) Nem véletlen tehát, hogy – most már Petőfinél maradva – ő azon nagyon kevesek közé tartozik, akik a magyar költők és írók közül korán és tartósan bejutottak a világirodalomba. Most mégis azt kívánom hangsúlyozni, hogy még kisebb azoknak a kiemelkedő egyéniségeknek a száma, akik olyan hathatósan, sőt elhatározó módon beleszóltak a nyelvi standard (benne a köznyelv és az irodalmi nyelv) alakulásába, mint Petőfi Sándor.

Csak ámulni tudunk mindjárt azon, hogy a számára adatott öt-hat év alatt mennyiségileg és minőségileg mit alkotott ez a fiatalember! És egyáltalán: hogy tudta minden ízében oly hamar birtokba venni a magyar nyelvet?! Hiszen, mint Illyés Gyula írja *Petőfi* című könyvében: „A luteránus templomban, ahol a kisdedet megkeresztelik... szlovákul zümmög a zsoltár”, és a vajúdó „kicsi, fekete hajú asszony” is „szlovákul jajong”, igaz, hogy az apának „magyarul szűrődtek ki fogai közül azok az öntudatlan szavak, melyeket az aggodalom és a tehetetlenség lök a nyelvre”. (Illyés, 1936:10. 8.)

A döntő lépést minden bizonnyal az jelentette, hogy a család hamarosan – a kisgyermek még 22 hónapos sincs – Félegyházára költözik. Itt teszi meg tehát az első lépéseket, itt ejti ki az első értelmes szavakat, itt szívja magába a magyar nyelv népi ízeit. Ezért írja később, 1848 nyarán *Szülföldemen* című emlékezetes versében, hogy: „Itt születtem én ezen a tájon, / Az alföldi szép nagy rónaságon, / Ez a város születésem helye...” (Részletesebben: Illyés, 1936:10–14. Fekete, 1974.) Iskolába kerülve, mintha érezte volna, hogy sietnie kell, bejárta szinte fél Magyarországot: Kecskemét, Szabadszállás, Sárszentlőrinc után Pest, majd Aszód, ezt követően Selmec, ismét Pest, azután Sopron és Pápa következett, közben színészi próbálkozások, katonaság... Röviden tehát az élet szolgáltatta számára az

ismereteket és a nyelvi sokszínűséget. És Petőfi életművének nagyságát látván, még két dolgot kell figyelembe vennünk. Először azt, amit legjobb barátja, Arany János említ iskolai irodalomtörténetében: „... tévedne, ki azt hinné, hogy ő [ti. Petőfi] szellemét nem művelte a legnagyobb szorgalommal. Éjjel-nappal írt, olvasott, jegyzett; saját igyekezete által magáévá tette a német, francia s angol nyelveket, hogy az ezen írt remekműveket olvashassa.” (Idézi Barta János, 1975:66.) A másik megjegyzendő az, hogy Petőfi nem mindennapi ember, hanem röviden: lángelme volt... (vö. Barta, 1975:44–46.)

2. Meg kell vallanom, 25 évvel ezelőtt már foglalkoztam Petőfi nyelvével (Szathmári, 1973 és 1975). Hogy most ismét ehhez a témához nyúltam, nemcsak az újabb évfordulóval magyarázható, hanem sokkal inkább azzal, hogy a nyelvtudomány azóta előbbre lépett (pl. a szövegtan, a szociolingvisztika, a pragmatika stb. felé); hogy köznyelv és irodalmi nyelv dolgát és a nyelvi rétegek viszonyát nem jelentéktelen mértékben másként látjuk; hogy közben megjelent a *Petőfi-szótár*nak mind a négy vaskos kötete; és hogy – mint minden nagy téma – Petőfi nyelvének a vizsgálata is kimeríthetetlen.

Mielőtt a címben jelzett kérdés tárgyalására rátérnénk, lássuk röviden, hogy egy-egy – nyelvi és stílári tekintetben – kiemelkedő egyéniség (költő, író stb.) a nyelvnek egyáltalán mely rétegére fejthet ki számottevő hatást. A lényegyet kiemelve azt mondhatjuk: mindenekelőtt a nyelvi standardra, illetőleg annak két megjelenési formájára, a köznyelvre és az irodalmi nyelvre. De mindjárt megjegyzem: főként ezek alapjának, fő vonásainak a kikristályosodása előtt, tehát nálunk a múlt század közepe tájáig, vége feléig. A nyelvi standardot mai ismereteink szerint így határozhatjuk meg: egy-egy nyelvnek a többi használati formán (a nyelvjárásokon, a szociolektusokon stb.) felülemelkedett, fő vonásaiban egységes, normatív és eszményi változata, amely rendszerint integrációs folyamatok útján hosszabb idő alatt alakul ki, majd a nép, illetve a nemzet nyelvhasználatának reprezentánsává válik. Ezen belül a köznyelv a standard beszélt változata, tehát lényegében a társas érintkezés nyelve, amellyel az iskolában, a hivatalokban, a kereskedelemben, illetve a rádióban és a televízióban stb. élünk. A köznyelv szerkezete, normarendszere a beszélt nyelvi jelleg (az interakció, a hangos beszéd sajátosságai, a taglejtés alkalmazása stb.) következtében kevésbé feszes, mint az irodalmi nyelv. Az irodalmi nyelv a nyelvi standard írott változata, amelybe minden magasabb szintű írott nyelv beletartozik, tehát a szépirodalomon kívül a tudományos, a publicisztikai, a vallási, a politikai stb. írott nyelvhasználat. Érthető, hogy az irodalmi nyelv a normákhoz, a hagyományhoz jobban ragaszkodik, és esztétikai céljai is erősebbek. (L. részletesebben Benkő, 1988:243–257.)

A standardizált nyelv kialakulása – mint ismeretes – hosszú folyamat. Nálunk a nyelvi egységesülés és normalizálódás intenzívebben a 16. század második negyedében indult meg, főként a humanizmus, a reformáció, a könyvnyomtatás, a kialakuló literátusréteg stb. hatására, és – az eddigi kutatások tanúsága szerint (Bárczi, 1963; Szathmári, 1968) – a nyelvi standard, pontosabban az irodalmi nyelv a 18. század elejére alapjaiban körvonalazódott, de csak formai, azaz helyesírási, hangtani és alaktani tekintetben. A tartalmi, vagyis a szókészleti,

frazeológiai, mondatjelentéstani, stilisztikai stb. jelenségek standardizálása azonban még el sem igen kezdődött, sőt szó- és kifejezőkészletünk nagyon szegényes volt: hiányoztak nyelvünkől a 18. század vége felé és a 19. század elején nagy számban keletkezett új dolgokat, fogalmakat megjelölő szavak, valamint a színes, változatos és hatásos stílust biztosító nyelvi-stiláris eszközök. Egyébként megjegyezhetjük, hogy még a formai jellegű normák is csak a műveltebbek körében voltak ismeretesek.

Mielőtt továbbmennénk, itt kell kitérnünk a Prágai Nyelvész kör idevágó tanítására. Bohuslav Havránek és Vilém Mathesius ugyanis még két fontos jellemvonását emeli ki a nyelvi standardnak, benne az irodalmi nyelvnek. Szerintük az irodalmi nyelvet – szemben a népnyelvvvel – feladatainak sokrétűsége, polifunkcionalizmusa s ennek következtében kifejezéseinek nagyobb differenciáltsága is jellemzi, hisz átfogja a kultúra és a civilizáció valamennyi területét. A másik fontos sajátosság az irodalmi nyelv intellektualizációja. Ez a főleg a szókészletben és a szintaxisban mutatkozó sajátosság teszi alkalmassá a nyelvet a mindennapi használatnál magasabb absztrakciós szint jelölésére és a bonyolult logikai folyamatok, a komplex gondolatok kifejezésére (l. pl. a műszavakat, továbbá az újabb kötőszókat, névutókat stb.). (L. részletesebben Péter, 1976: 410–412.)

Nos, mintha a felvilágosodás – a 18. század utolsó harmadában és a 19. század elején – mindezt felismerte volna. Tudniillik a felvilágosodás eszméitől indítva a nyelvnek minden téren való kiművelését tűzte ki célul. E korszak legkiemelkedőbb egyéniségei (Bessenyei, Kazinczy, Révai, Verseghy és mások) véghezvitték a nyelvújítást, hitet tettek a kialakult nyelvi normák mellett, és – eddig nem tapasztalt számban – új grammatikákkal, szótárakkal, iskolai tankönyvekkel, valamint költői és prózai művekkel stb. nem kismértékben terjesztették is őket. Mint ismeretes, maga a nyelvújítás sok ezerrel gyarapította szó- és kifejezőkészletünket, és megalapozta valamennyi stílusrétegünket: a tudományos és szaknyelvi, a publicisztikai és a hivatalos stílus mellett a legfontosabbat, a szépirodalmi stílust is (részletesebben l. Benkő, 1960; Bárczi, 1963:290–342; Szathmári, 1980).

A magyar nyelvi standard kikristályosodásának folyamatát továbbvitték, szélesítették – csak ezen belül most már nem elsősorban új lexikai elemekkel, hanem a nyelvújítás eredményeinek az elterjesztésével, a teljes befogadásával – a Petőfi felléptét megelőző mintegy két évtizednek, immár a reformkornak olyan jelentős eseményei, mint az emberi jogokért és a nemzet függetlenségéért vívott, majd a szabadságharcba torkolló küzdelmek; Pestnek gazdasági, politikai és tudományos központtá válása; a Magyar Tudós Társaság megalapítása és azonnal megindult igen sokrétű tudományos és kulturális tevékenysége (az első helyesírási szabályzat, a tájszótár, a tisztí szótárak stb. megszerkesztése); Kölcsey, Bajza, Vörösmarty és más költők, írók alkotásainak megjelenése; a sajtó és a folyóirat-, valamint könyvkiadás felvirágzása stb. (l. részletesebben: Pais, 1955).

3. Elérkeztünk az 1840-es évek elejére. Ha a Petőfi fellépte előtti magyar nyelvi standard állapotát akarnánk – ezúttal a negatívumokra helyezve a hangsúlyt – jellemzi, összefoglalóan a következőkre utalhatunk.

a) A nyelvi standard formai normarendszere még tartalmazott viszonylag jelentős számban ingadozó elemeket, továbbá korántsem terjedt el a kívánt mértékben.

b) A szó- és kifejezőképesség se mennyiségben, se minőségben nem tudott felzárkózni a kor követelményeihez. Ráadásul a nyelvújítás alkotásainak számos eleme sem épült be szervesen nyelvünkbe.

c) E negatív jelenségekhez nem kismértékben hozzájárult az is, hogy a nyelvi standard megerősödésének legfőbb segítője: a szépirodalmi nyelv és stílus – éppen az akkori stílusirányzatok (a klasszicizmus, a biedermeier, az almanach-líra stb.) hatása következtében – távol állt az élő nyelvtől, és egyébként sem tudott megfelelően hatni (Szűcsi József pl. ezt jegyezte meg a Petőfi költői nyelvét vizsgáló dolgozatában: „Vörösmarty és Bajza csak a nemzet műveltjeihez szóltak...”; Szűcsi, 1910:15.). Egyébként Zlinszky Aladár Petőfi nyelvéről értekezvén arra utal (példákkal illusztrálva), hogy „a költő zsenyének a stílusa is sokszor fellengő, affektált, modoros...” (Zlinszky, 1922:189–190.). Martinkó András szintén megemlíti, hogy a negyvenes évekből származó Petőfi-levelekben az almanach-lírára jellemző képek találhatók (Martinkó, 1965:33).

d) Nem alakult ki a természetes beszéden alapuló társalgási, illetőleg köznyelv sem. Az akkori társalgási nyelvet szintén a sablonos formulák és a nyelvi mesterkéeltség jellemezte. „... a társalgási nyelv azt a stílust utánozta – írja T. Lovas Rózsa (1955:443–444.) –, amelyben pl. az *Életképek* szerkesztője fogalmazta meg 1844-ben felhívását a magyar nőkhöz, éppen a társalgási nyelv ápolása érdekében: »Kebleitek' lelkesedésétől, mint gyöngyelő forrás nedűjétől fakadand tartóssá a' magyar társalgás életvirága, melyből fűzendő koszorúikat örömmel teendik asztalaitokra kegyelések által lelkesített íróink.«” Érthető tehát, hogy mind jobban erősödött az igény egy, az élethez közelebb álló stílus és irodalmi nyelv iránt.

Ha végigtekintjük Petőfi életművét, megállapíthatjuk, hogy a magyar nyelvi standard kikristályosodását minden tekintetben – az itt jelzettekben is – előbbre vitte, különösen az élő, beszélt nyelvnek a szépirodalomba emelésével, illetve a művelt köznyelvnek a megalapozásával. Hogy mindezt oly rövid idő alatt is megtehetette, azt nem mindennapi tehetségén kívül mindenekelőtt egyéniségével magyarázhatjuk.

4. Mi jellemezte ezt a sajátos egyéniséget? Elsősorban a való világ iránti olthatatlan érdeklődés. Nincs még egy költőnk, akit az élet minden jelensége annyira érdekelt volna, mint Petőfit. Gyalog és szekéren bejárja szinte az egész országot, és közben minden érzékszervével figyeli az embert, a természetet, az élő és életlen világot, az apró bogaraktól a fellegekig, és mindazt, amit az ember tesz, ami az emberrel történik. Ilyenformán Petőfi költészetéből és prózájából szinte rekonstruálható a költő életének minden pillanata, az egész akkori világ.

Ennek megfelelően minden általa érzékelt dolog bekerül a versbe, a szépprózába, egyenesen, legtöbbször közvetlenül. Ezért írja Martinkó, hogy „...mind az impulzus, mind a versnek a költemény során esetleg többször is előbukkanó vagy állandóan jelen levő külső fizikai kerete is szó szerinti értelemben vett realitás, igazság... Igaz és realitás nemcsak előfordulásában, bár ez önmagában is sokat-

mondó: nincs a világirodalomban költő, akinél az említett jelző adatok a maguk fizikai realitásában – nem metaforaként, a belső valóság analógiájaként – olyan sűrűn és meghatározó jelleggel szerepelnének, mint Petőfinél.” (Martinkó, 1969.) És ezért jegyzi meg Illyés az *Egy estém otthon* című, szinte a köznapi nyelv hatását keltő és csodálatos egyszerűségű költemény megjelenésével, fogadtatásával kapcsolatban: „A negyvenes évek ítései és költérei méltán elhűlhetek, mikor szemük elé került ez a vers. Hát így is lehet versben beszélni?” (Illyés, 1936:80.)

Így válik aztán Petőfinél az egyszerűség, a természetesség elvvé, programmá: „Föl nem érem ésszel – jegyzi meg az *Úti levelekben* –, hogy vannak a nem-minden-napi emberek közt olyanok, kik nem tudják vagy nem hiszik, hogy az egyszerűség az első és mindenek fölötti szabály, hogy akiben egyszerűség nincs, abban semmi sincs. Azzal ne álljanak elő, hogy az ő gondolataik magasabbak, hogysen közönséges nyelven ki lehetne fejezni. Az az egyszerűség, mely vissza tudta adni Shakespeare legnagyobb gondolatait, legragyogóbb költői képeit, legmélysege-sebb érzelmeit, bizony Kuthyét vagy akárkiét is vissza tudja adni.” (Az *Úti levelek-ből* vö. Martinkó, 1965:281–291.) Egyébként Petőfi már 1842-ben a pápai önképző-körben előadott székfoglaló beszédében (valójában ez a székfoglaló paródiaja) „szembefordul az üres pátosszal, a konvenciózus költői szépségekkel s egyben a nagyképűséggel, álfennköltiséggel, álérdeklődéssel, az előírások, szabályok szolgálai követésével”. (Martinkó, 1967:327; l. még Martinkó, 1965:38–39.)

Az egyszerűség, a természetesség – érthetően – érvényesül a kifejezőmódban, a nyelvi-stiláris eszközökben is: „Az egyszerűség Petőfi számára nemcsak a funkciótlan dísz, sallang, tartalmatlan dagály s általában a pusztán formai eljárások kerülését, elvetését jelenti, hanem (ezzel együtt) jelenti a közösségi, egyetemes kifejezésformák gyakorlatát, azaz a nyelvi és stiláris demokratizmust és realizmust is. Petőfi stílusának... etikája van, s ez azonos cselekvésének etikájával és politikai gondolkodásának népi demokratizmusával.” (Martinkó, 1965:283.) Mindez a közérthetőségnek, az élő beszédnek a diadalát jelentette.

5. Ha most már Petőfi közvetlen nyelvi hatását akarjuk – legalább nagy vonalakban – felmérni, akkor a nyelvnek a következő rétegeit, jellemző sajátosságait kell szemügyre vennünk.

A) Milyen mértékben erősítette Petőfi az addig kialakult normarendszert (ez utóbbit l. Szathmári 1975:222–225), részint az ingadozások csökkentésével, részint a normák terjesztésével? Válasszuk szét a nyelv egyes részlegeit.

a) *Hangtan.* – A hangtani normákat Petőfi elfogadja, és nagyon kevés kivétellel követi is. Ezt igazolja mindjárt Gáldi Lászlónak a *Petőfi-szótár* szerkesztésével kapcsolatos megjegyzése, amelyet 1964-ben az írói szótári konferencián mondott: „A címszó általában a Petőfi használta szó mai irodalmi és egyben szokásos szótári alakja. A legtöbb esetben az *Értelmező szótár* címszavai minden nehézség nélkül alkalmazhatók Petőfi nyelvére is...” (Gáldi, 1965:373). Ez egyben már azt is mutatja, hogy a magyar nyelvi standard a Petőfitől jelzett úton haladt a ma felé. A tendenciaszerű hangtani jelenségek közül csupán az *e : ő* szembenállás tér el a maitól. Nála ugyanis bizonyos esetekben az *ö-s* változatok jóval gyakoribbak (pl. *föl* 135 : *fel* 7; *föd* 34 : *fed* 7; *föle* 26 : *felé* 1; *fölebred* 60 : *felébred* 5 stb.). Ehhez azonban

azt is hozzátehetjük, hogy a *fel* : *föl* stb. használata ma is vagylagos, az *ö-ző* változat, illetve a kettő változtatása a hangtani környezettől függően szolgálhatja a hangalaki változatosságot.

Az ingadozó változatokat egyébként Petőfi általában a mai felé közelíti (pl. *ismer* 254 : *ismér* 9 : *ösmer* 1; *sör* 14 : *ser* 4; *iskola* 30 : *oskola* 1; *által* 304 : *átal* 1; *engem* 539 : *éngem* 1; *enyém* 106 : *enyim* 12; stb.) Természetesen ingadozó változatok még Petőfinél is maradnak (pl. *ad* 53 : *ád* 40; *ágyú* 7: *ágyu* 9 : *álgyu* 1; *ajándék* 19 : *ajándok* 4 stb.). (Vö. Martinkó, 1965:336.)

Mindez nem zárja ki, hogy Petőfi ne használta volna fel a tájnyelvi, a régies stb. hangtani változatokat jellemzés, hangulatkeltés stb. céljából, illetve egyáltalán a beszélt nyelv felé hajlás következtében (pl. „S mi ad élvezet, hogyha nem bor és leány? / Éljen a lyány, éljen a bor... húzd cigány!” (*Dinomdánom*); „Hírös város az aafődön Kecskemét/ Ott születtem, annak öszöm könyerét.” (*Hírös város...*); „Gyócs a gatyám, patyolat az ingem...” (*Pusztán születtem...*))

Mindamellet valós Deme László megállapítása, hogy tudniillik Petőfinél köznyelvi hangállapotot használ a csikós, a juhász (Deme, 1955:81.). Megjegyzem még, hogy mivel Petőfinek sok műve született, és ezek nagyon sokszor megjelentek, továbbá minthogy tekintélye is volt, érthető, hogy hatásosan képviselte a hangtani normákat.

b) *Alaktan.* – Az alaktan területén még kevésbé szilárdultak meg a normák, mint a hangállományban. Petőfinél is mind a név-, mind az igeragozásban viszonylag nagyobb az ingadozás, de a normalizáló és a normákat terjesztő szándéka, illetve a beszélt nyelv érvényesítése itt is megfigyelhető. Lényegesen több már a mai *-ból*, *-böl*, *-tól*, *-től*, *-ról*, *-ről* az *u-s*, *ü-s* változatokkal szemben. Viszont joggal írja Tompa József (Tompá, 1955:332): „... a hol kérdésre felelő belviszonyrag *-n-jét* is leginkább Petőfi meri az élő kiejtés alapján ritmikai okokból hiányjellel pótolni, pl. »Mivelhogy ruhákat mos a friss *patakba*«” (ríme: *hajtvá, János vitéz* I.). A töváltzatok esetében szintén gyakran a beszélt nyelvi variánst választja, pl. *megnyugoszol, szítam, teremében, tereken, mocsárok, ajkin, aluvának, meggyulladott* stb. Az *olvasánk* : *olvasók* variánsok közül Petőfi már az elsőt használja. A jövő időt illetően kezdetben gyakrabban él az *-nd* időjeles változattal, de él a *fog-os* jövővel is. Az *aztat, eztet* kettőzött ragos alakot régies, illetőleg népies stílusértékben használja. Az *ötet* elfogadottabb változat volt akkoriban, Petőfi is élt vele. (L. még Tompa, 1955; és Martinkó, 1965.)

c) *Mondattan.* – A mondat normatív jellemzői szintén kevésbé vannak kidolgozva, egyébként a formai elemek (pl. a kötőszók, a vonzatok, az igemódok stb.) és a formai sajátosságok (pl. a szórend, a mondatrend stb.) kivételével valójában nehéz a jellemző vonásokat megragadni. Ezért előbb Petőfi mondatalkotásának inkább a szokásostól eltérő, már-már stilisztikai vagy éppen szövegszerkesztési vonásaira térek ki. Idézem Martinkó átgondolt megállapítását: „...Petőfi nyelvi-grammatikai struktúrája sokkal inkább a beszéd [*parole*] pszichológiájához, semmint a nyelv [*langue*] logikájához alkalmazkodik... Petőfi sokszor vét a grammatikai logika ellen (egyeztetés, szórend, névmások, vonzatok, mondatkapcsolatok stb.), még sincs az a benyomásunk, hogy rossz grammatikájú, szórendű,

egészségtelen mondat szerkesztéssel állunk szemben – mert ilyen a beszéd is...” Továbbá, immár a szövegszerkesztésre utalva: „A beszéd folyamat lineáris jelenség: szükségszerűen alá van vetve az időbeli pszichofizikai egymásutániságnak. Innen Petőfinek »lépegető«, »rakéta«-elvű mondat szerkesztése, innen a folyamatosság biztosításának állandó szándéka (pl. a kötőszók túlzottnak látszó kultiválása – mondatkezdőként is, az egyszerű mondatok ritkasága stb.).” (Martinkó, 1965:534; l. még uo. 36–37, 54, 135–136.) Gyakran jellemző továbbá Petőfi mondat szerkesztésére az epikus, eseményes, festő, ábrázoló mozzanatok gyors, vázlat szerű odavetése, illetve a hosszabb mondanivalónak „libegő-kopogó” egyszerű mondatokra bontása, a *style coupé* (Martinkó, 1965:191.).

Felsorolom még a következő – inkább formai (esetleg az alaktanhoz is tartozó) – feltűnőbb jelenségeket: a) Petőfi – mint Tompa jelzi (1955:363–365) – mérsékelten veszi át azt a mesterkélt nyelvi divatot, amely szerint az azonos toldalékok közül az elsőt elhagyják, pl. „Föl tudnám én is öltöztetni Szép *rím- s mértékbe* versemet...” (*Rongyos vitézek.*) – b) Petőfi a *való*-val, *levő*-vel szerkesztett jelzői értékű határozók helyett a ragos névszó után tett *-i* képzős szerkezettel él, pl. „...a kettejük *arculatábani* hasonlat miatt...” (*A koros hölgy* fordítás.) – c) Petőfi viszonylag kevés kötőszót használ, az *és*, *s* viszont gyakori nála, mondatkezdőként is, de inkább szövegtani szerepben, mint az egyes részek közötti kapcsolat biztosítására, pl. „...kiáltott az úrfi, *s* nagyot fütttyentett, *és* nevükön szólította a kutyákat, *s* azok...” Petőfi prózájából. (L. Martinkó, 1965:339.) – d) Mint Martinkó utal rá (1965:546) Petőfi olyankor is kiemeli az állítmányt, amikor logikailag nem azt illeti a főhangsúly, így „Petőfinél csak lélektani állítmány van, *s* nem logikai”, pl. „Ha ilyen kétségbeejtő körülmények között *kikiáltom* bármily válogatatlan szavakkal, hogy...” (*Petőfi prózájából.*) (L. még Petőfi sajátos központosításáról: Martinkó, 1965:341–342 és más jegyeiről: 580–581.)

B) A nyelvi integrálódást, továbbá a mennyiségi és minőségi gyarapodást szolgálta Petőfi szó- és kifejezőkészségével is. Lássuk részletesebben!

a) A különböző nyelvi rétegek lexikai elemeinek felhasználása. – Petőfinek a tájnyelvekkel kapcsolatos nézetéről – csak helyeselhetően – a következőket állapította meg Zlinszky Aladár: „Az ő népiessége nem tájszólás, kurjongatás és csilingelés, hanem a népiesnek irodalmivá nemesítése, természetesen a saját módján. Szülőföldjének nyelvjárása nem látszik meg annyira sem rajta, mint Vörösmartyn a Dunántúl vagy Tompán a Sajó völgy.” (Zlinszky, 1922:192.) Mindamelllett bizonyos fokig ez is fejlődés eredménye: az első levelekben (Martinkó, 1965:28) az élőbeszéd hatására még valamelyest jelentkezik a tájnyelviség (*oskola, esmérnétek, ötet* stb.), és később is előfordulnak olyan szavak, mint *cepel, cerimónia, tenta, cseresnye* stb., hiszen lassan szilárdult meg a határ a köznyelvi és a nyelvjárási szavak között. Viszont egyre inkább stilisztikai célt szolgálnak az efféle lexikai elemek, rendszerint mint az élő beszéd eszközei, pl. „A főjegyző [...] egyetlen jó emberem a *kaputosok* között Szabadszálláson”, [kaputos: ’városi divat szerinti (hosszú) felöltőt viselő, az urakhoz tartozó’]; „Még mikor bölcsőben sírtam, ő már akkor / *Kerepölt fölöttem.*” (*A gólya*); „Tolvajoknak én *danolok*, / Tolvajokkal én táncolok.” (*Panyó Panni.*)

Természetesen Petőfi, aki össznépi-nemzeti gyakorlatot követ, beemeli szóincsébe a parasztin kívül a városi, az értelmiségi-polgári, a kézműves-, a kereskedőréteg szavait, kifejezéseit is. (Felsorolok a *Petőfi-szótárból* a *c*-vel, *cs*-vel, *d*-vel és *e*-vel kezdődő szavak közül néhány idevágó lexikai elemet, a TESz. alapján megjelölve az első előfordulás évét azok esetében, amelyek Petőfi fellépése előtt nem sokkal keletkezettek: *cukrász* 1830, *cseréptányér*, *csillár* 1831, *csizmaszár*, *csizmatalp*, *csomag* 1844, *csőszház*, *dara*, *delelés*, *derékalj*, *diótörő*, *disznóhízalás*, *dohányzacskó*, *dominó* ('farsangi ruha') 1788, *éghajlat* 1788, *egyenruha* 1836, *egyensúly* 1808, és megemlítem még a *vasút* szót, amely 1828-ban fordul elő először, de 'vonat' értelemben csak 1844-ben, Petőfinél viszont már ott van verscímként 1847 elején. Petőfi egyébként 1846-tól haláláig végigköveti a politikai harcokat, érthető tehát, hogy a politikai szókészlet is helyet kap prózájában, költészetében.

b) A szóincs gyarapítása képzéssel és összetétellel. – Petőfi szívesen élt a szóalkotásnak itt jelzett két módjával. Mint Martinkó utal rá (1965:336–337): „Különösen színes a gyakorító és mozzanatos igeképzés skálája és funkcionális felhasználása »szép kis vagyont szerezgetett össze«; »odanyomintotta a tüzes vasat«; »elnyiffantotta vagy elrohintette magát«." (Petőfi prózájából.) A *helység* kalapácsában az „elhortyantotta magát” a nyelvi komikum eszköze. Kedvelte aztán a gyűjtőfogalom kifejezésére a képzett szót, összetétel vagy többes számú forma helyett: *nép-ség*, *legénység* 'legények'. Aztán vegyítette is a kettőt: „...a házak előtt vidám ép legénység és szép takaros lányok.” (Az *Úti levelekből*.)

Különösen kezdetben gyakoriak Petőfi nyelvében a németes összetételek, pl. *gyönyörítas*, *harcszomjas*, *vágyszomjas*, *mézéhes*, *égmagas*, *érdemtelses*, *átokteljes*, *eseményteljes*, *örömteli*, *rémülésteli*, *illatterhes* stb. Később szintén gyakoriak a magyar hagyománynak megfelelők. Az *acél* szó pl. ilyen összetételekben fordul elő: *acélcsukló*, *acélgyűrű*, *acéllánc*, *acélmetesző*, *acélpajzs*, *acélpáncél*, *acélsisak*, *acélszablya*, *acélvért*, *acélzabla*. (Az *acél* szónak ezenkívül van olyan -i képzős származéka is, amely az *Értelmező* szótárban nem szerepel: „acéli zörej” [Egy gondolat bánt engemet...]) Az *agyon*- igekötővel négy olyan összetett ige alkot, amely szintén hiányzik az *Értelmező* szótárból: *agyoncsókol*, *agyonfojt*, *agyonrág*, *agyonüldöz*. Megjegyzem még, hogy az *át*- igekötős ige a *Petőfi-szótár* I. kötetének tizenhat lapján sorjáznak (211–226).

A képzett és összetett szavak alkotása már a Prágai Nyelvész kör által említett intellektualizáció körébe is tartozik, ti. ezek a szavak a mindennapi nyelvnl gyakran magasabb absztrakciós szintet képviselnek.

c) A szavak jelentésének kitágítása. – A *Petőfi-szótár* a tanú rá, hogy a költő nagymértékben kitágította számos szó és kifejezés jelentését. Milyen gazdaggá válik pl. az *ablak* első, legismertebb jelentése azáltal, hogy Petőfi a megszokottól eltérő (jelzős, igés stb.) kapcsolatokba állítja, illetőleg a legkülönbözőbb fajtájú stílusesszközként él vele, pl. metafora: „Az álom *ablak*, mellyen által / Lelkünk szeme jövőbe néz” (*Jövendölés*); tréfás metafora (feje ablakai 'szemei'): „...ő egyikével / Feje *ablak*inak / Le-lenéz a folyó bor / Billikomába” (*A helység kalapácsa*); az 'ablak üvege' „*ablakára* a hideg tél / Elégszer festett jégvirágokat” (*Az apostol*); szimbólum: „Ha majd a szellem napvilága / Ragyog minden ház *ablakán*...” (*A XIX. század költői*).

(L. még pl. *akar, oroszlán, puszta* szavunkat és az *ah* indulatszót, amelynek az *Értelmező szótár* 5, a *Petőfi-szótár* viszont 10 jelentését különíti el.)

A szavak szimbólumként való alkalmazása szintén kitágítja a jelentéskörüket. Petőfi szimbólumairól J. Soltész Katalin ezt írja tanulmánya befejezésekképpen: „Petőfinél a szimbólum nem fátyol, amelyen keresztül valami bonyolult, nehezen tudatosítható vagy nehezen kifejezhető dolog sejlik, mint a romantikus és a szimbolista költőknél vagy éppenséggel a vallási-mitológiai szimbolikában. A jelkép Petőfi számára elsősorban *kép*, amelynek rendeltetése, hogy a mondanivalót érzékletes formában fejezze ki. Az elvont fogalmak képi megjelenítése szinte testközelbe hozza, kézzelfoghatóvá teszi a költő gondolatát, mégpedig elsősorban az olvasóra mozgósító erővel hatni akaró, a nemzet egész közösségét cselekvésre buzdító gondolatát: a legtöbb szimbólummal forradalmi verseiben él Petőfi.” (J. Soltész, 1964:338.)

Idevonható aztán nyelvünk közkeletű – egyszer-egyszer megkopott – képeinek a megújítása. Petőfi ebben is mesternek mutatkozik. Példák: *szállnak az évek*: „Láttál-e a róna felett / Elszállni madársereget, / Ha rája lövének? / Így szállnak az évek!” (*Láttál-e a róna felett...*); *felönt a garatra*: „Az én torkom álló malom; / Úgy öröl, ha meglocsomom.” (*Az én torkom álló malom...*) (I. Zlinszky, 1922:197.)

Az itt említettekkel Petőfi nyelvünk intellektualizációjához járult hozzá, vagyis az irodalmi és köznyelv kiteljesedéséhez. (Valójában ide is vonható az, amit Petőfi mondat szerkesztéséről – a „rakéta”-elvű mondatról stb. – korábban megállapítottunk.)

d) A nyelvújítási szavak elterjesztése. – Reális szemlélet jellemezte Petőfit a nyelvújítási szavak felhasználásában is. Több mint ezerre tehető a nála előforduló idevágó elemek száma. Ezek létét nyilván megszilárdította, vagy legalábbis szilárdabbá tette, és egyúttal terjesztette őket. Ilyen szavak: *adag, adomány, állomás, anyag, árny, csalogány, csattogány* (mindkettő: 'fülemüle'), *dalnok, élő, kellem, magány, merény* ('merész tett'), *vadon, védangyal* stb. Petőfi maga nemigen hozott létre efféle szavakat. A *rabszolganép* és a *világszabadság* szót tulajdonítja neki (vö. Gáldi, 1958:333.; Tolnai, 1929:172.); továbbá a *forradalom* szónak korábban 'lázaadás' volt a jelentése, és Petőfi 1848 augusztusában írt, hasonló című verse is hozzájárult ahhoz, hogy a szó 'Revolution' értelemben állandósuljon. (L. Terestyéni, 1955:113.) Megjegyzem még, hogy Petőfit természetesen az akkori modern technika is érdekelte (l. pl. *Vasúton* és *Bányában* című versét; vö. Tompa 1955:346.). Ez szintén elősegítette a nyelvújítási szavak felhasználását és terjesztését.

e) A nyelvi standard polifunkcionalizmusának a kialakítását előmozdító jelenségek. – Mint utaltunk rá, a Prágai Nyelvész kör szerint a nyelvi standardra jellemző a polifunkcionalizmus is, azaz a kommunikációs feladatok sokrétűsége és ennek következtében a kifejezések nagyobb differenciáltsága.

Ennek eredménye, hogy a nyelvi standard átfogja a kultúra és a civilizáció valamennyi területét. Nos, Petőfi a magyar nyelv esetében ehhez is hozzájárult, nem is kismértékben. Említettük, hogy Petőfit minden érdekelte, járta az országot, részt vett a politikai életben, és mindent megjelenített prózájában és költészetében. Nyelvében tehát ott vannak – mint a hatalmas, négykötetes szótár bizonyít-

ja – a korabeli falusi és városi életnek, a műveltségnek a színterei, az események, az egyéni érzések, és még sorolhatnám tovább. A polifunkcionalizmus talán mégis kézzelfoghatóbban kimutatható abban, hogy Petőfi milyen irodalmi műfajokban alkotott, milyen új műfajokat honosított meg. Ezek ti. mind más-más nyelvi-stilisztikai eszközöket kívánnak, s ilyenformán mintegy jelzik a magyar irodalmi és köznyelv sokfunkciójává válását. Minderre jól mutat rá Németh László: „...jobb-rosszabb bortalokból, versebe szedett anekdotákból indulva, hogy csatolt szinte versről versre új műfajokat, műfaji változásokat a meghódítotthoz, s hogy tudta azt, amiben erejét megmutatta, továbbfejleszteni s meg nem ismételni. Ez a felfedező ökonómia elbeszélő költeményeiben még szembetűnőbb, mint lírája műfaji sejtoszlásában. Az elődök modorával leszámoló *A helység kalapácsa*, a népiséget győzelemre vivő *János vitéz*, a vízesés-zuhogású *Salgó*, a verses regényt forradalmi hévvel olvasztó, emelő *Az apostol*; a négy év alatt írt négy mű szinte felnagyított képét adja az egész munkásságában folyó műfajburjánzásnak. Pályája végén a legjobb úton volt, hogy a prózai műfajokat is annektálja. Senki sem írt Mikszáthig mesterkéletlenebb magyar prózát; útleírásai, az Arany-levelek megmutatják, mi lehetett volna regényben, novellában; akik drámáját látták, s újföldfeltáró s megszálló erejét ismerik, elhiszik, hogy ezt a terepet is meghódította volna.” (Igaz Szó, 1969. 7. sz. 34.)

Ezenkívül megjegyezhetjük, hogy Petőfi kezén kiszélesedik és bizonyos fokig átalakul – mint ahogy Németh László is célzott rá – az irodalmi és egyéb műfajok egész sora (az óda, a leíró költemény, a regény, a novella, a dráma, továbbá a napló, az útirajz, az életkép, a kritika, a zsánerkép stb.). Módosított szerepet kapnak a korábbi stílusz eszközök is: a képek, az alakzatok, a prózaritmus, a humor eszközei, a beszélt nyelvi jelenségek stb. Még a verselés is magasabb fokra lép, ahogy Gáldi utal rá (1955:581): „A köznyelv költőivé emelése nehezen aratott volna sikert, ha Petőfi a maga tudatosan leegyszerűsített, hétköznapi nyelvét a legbanálisabb, legnépszerűbb metrumkeretekbe önti.”

C) Petőfi a legmaradandóbban minden bizonnyal azzal hatott nyelvünkre, hogy az élő beszédet diadalra juttatta a szépirodalomban, hogy – mint Bárczi Géza írja (1963:315) – „...a lombikban főtt szalonnyelv helyett a természetes magyar beszédnek szerzi vissza az irodalmi tekintélyt”, vagyis: az irodalmi hagyományt össze tudta egyeztetni az élő nyelvszokással. Ez a valóságos nyelvi forradalom csupán Shelley, V. Hugo, Heine, Puskin és a külföldi nagy realisták nyelvi reformjához hasonlítható (Gáldi, 1973:5).

Jóllehet mindez Petőfi egyéniségéből eléggé nyilvánvalóan következik – hiszen, mint már említettük, az egyszerűség, a természetesség, az őszinteség és a nép felemelésének a forradalmi vágya jellemezte –, mégis fokozatosan érlelődött meg benne az élő beszéd fontosságának felismerése. Martinkó András Petőfi prózáját vizsgálván (1965) rámutat, hogy már az első levelekben ott található a költőnek a nyelvi realizmus iránti erős hajlama. Korán elítéli a fentebb stílt, de a provinciálisan paraszti nyelvhasználatot is. Az *Úti jegyzetek*ben már erősebben érvényesíti „hétköznapi” realizmusát, pl. utazása közben a kocsisával mondatja el a berzétei rom regéjét. A *Tigris és hiéna* című drámában – műfaji okokból is –

középpontba kerül a beszéltetés. Érdekes módon a történetiséget „a romantika rekvizitumaival, az intellektuális-érzelmi választékosságot a felvilágosult polgári és érzelmes biedermeier nyelvi gyakorlatával, az alsóbbrendűt, illetőleg az őszintét, természetest pedig a beszélt nyelv formáival igyekszik sugallni”. (Martinkó, 1965:142.) *A hóhér kötele* című regényt meg egyenesen a párbeszéd és a beszéltetés túlsúlya jellemzi. Még a Bemnek szóló francia nyelvű levében is párbeszédbe fordul az elbeszélés.

Ami aztán még szokatlanabb volt, a beszélt nyelv megjelent a költészetében is. Petőfi érzelmi gazdagsága és közvetlensége az élő beszéd szavaiban, kifejezéseiben öltött formát. A haragot pl. így szólaltatja meg: „*Ejnye, mi az istennyila! Üres már a ládafia?*” (*Szomjas ember tűnődése*); „*A keserves voltát, rugaszkodj utána!*” (*János vitéz* XXI.) És nem riad vissza a szitkoktól, a káromkodástól sem: „*Jertek, barátim, van egy-két forintom, / Hágjunk nyakára, a rézangyalát!*” (*Gazdálkodási nézeteim*.) Sőt „megokolt” durvasággal is találkozunk nála: „*Mit ugattok, mit haraptok / Engemet, hitvány ebek!*” (*A természet vadvirága*.) De tudott Petőfi verseiben tréfálkozni, szerelméről, szüleiről, ügyes-bajos dolgairól is keresetlen szavakkal beszélni (l. részletesebben: Zlinszky, 1922). Az élő beszéd csúcspontját jelentette aztán például az *Egy estém otthon*, a *János vitéz*, a *Tisza*, illetve *A helység kalapácsa*, de sorolhatnánk összes költeményeinek a nagyobbik hányadát.

D) Petőfi az élő, beszélt nyelvre való támaszkodással mindenekelőtt a nyelvi standard két megnyilvánulási formájának: a köznyelvnek és az irodalmi nyelvnek a kikristályosodásához járult hozzá.

Mint korábban rámutattam (l. még Martinkó, 1965:55–57 és 537 kk.), a negyvenes évek elején egyre nagyobb szakadék keletkezett az arisztokratikus szépirodalmi és társalgási nyelv, valamint az élő beszéd között. Vahot Imre, Frankenburg Adolf és Petrichevich Horváth Lázár szerkesztők stílusát például „a nyakatekert terjengősség, az almanach-próza, keresett pointírozás, erőltetett, zavaros képesvirágos beszéd jellemzi”, Petőfinél viszont „nyersebb, szókimondóbb, indulatosabb magatartást, rövidre fogott, sallangmentes, nyelvileg és stílusban ma is élő, élvezhető előadásmódot találunk”. (Martinkó, 1965:56.) Közben viszont már egy szélesebb körű közönség is egyre inkább igényelte az életszerűbb irodalmat és stílust. Mint már jeleztem, Petőfi ezt az igényt elégítette ki, mégpedig a legmagasabb szinten. Hogy mindez a gyakorlatban mit jelentett, arra szemléletes példát hoz T. Lovas Rózsa (1955:495–496): „Petőfi 1843-ban még ott cipelte levélstílusán a biedermeier minden cikornyáját. Bajának pl. így ír 1843. nov. 28-án: ...»Mélyen tisztelt Tekintetes Úr! – Szíves engedelmenél fogva bátorkodom röviden lerajzolni körülményeimet, s noha ezek alkalmasint feketébbek halvány tintámnál: mindazonáltal örömmel írom le, áthatottan azon édes sejtéstől, hogy talán nincs a Tekintetes Úr minden részvét nélkül sorsom iránt. Legyen szabad ezt remélnem, legyek oly szerencsés, hogy e remény valósuljon; mert elhagyott pályámon a Tekintetes Úrnak irántam mutatott – s általam aligha megérdemlett – szívessége, leereszkedése ösztönző egy magasabb cél felé, igen, vezércsillagom, büszkeségem.«” 1849 júniusában, midőn Szemere Bertalant arra kéri, hogy *Csatadalából* bizonyos példányszámot rendeljen meg a hadsereg számára, már ilyen a

levélstílusa: „Tisztelt Miniszterelnök Úr! – Tegnap Csengeri és Kemény Zsigmondra bízta, hogy beszéljenek Önnel egy, a hadseregnek szánt versem felől. A mint Csengeri szavaiból kivettem, a dolog azon múlt, hogy versemet nem hagytam ott. Ide melléklek tehát azt, de föltételelem (melyet nem tudom közlöttek-e Önnel a fenntisztelt urak) megváltozott.” A levél befejezése pedig így hangzik: „Ha válasza nem lesz tagadó, szíves lesz Ön azt nekem írásban elküldeni, hogy a szerint intézhessem versem nyomtatását, mit azonnal megkezdek. Miniszterelnök Úrnak – tisztelő polgártársa...”

Ilyenformán Petőfinél a maga élő beszédben gyökerező, kollektív nyelvi-stilisztikai formáival jelenik meg a köznyelv, amelyben sehol egyetlen kirívó elem, se az irodalmiasság, a fentebb stíl, se a táji nyelv, se az alantasság irányában.

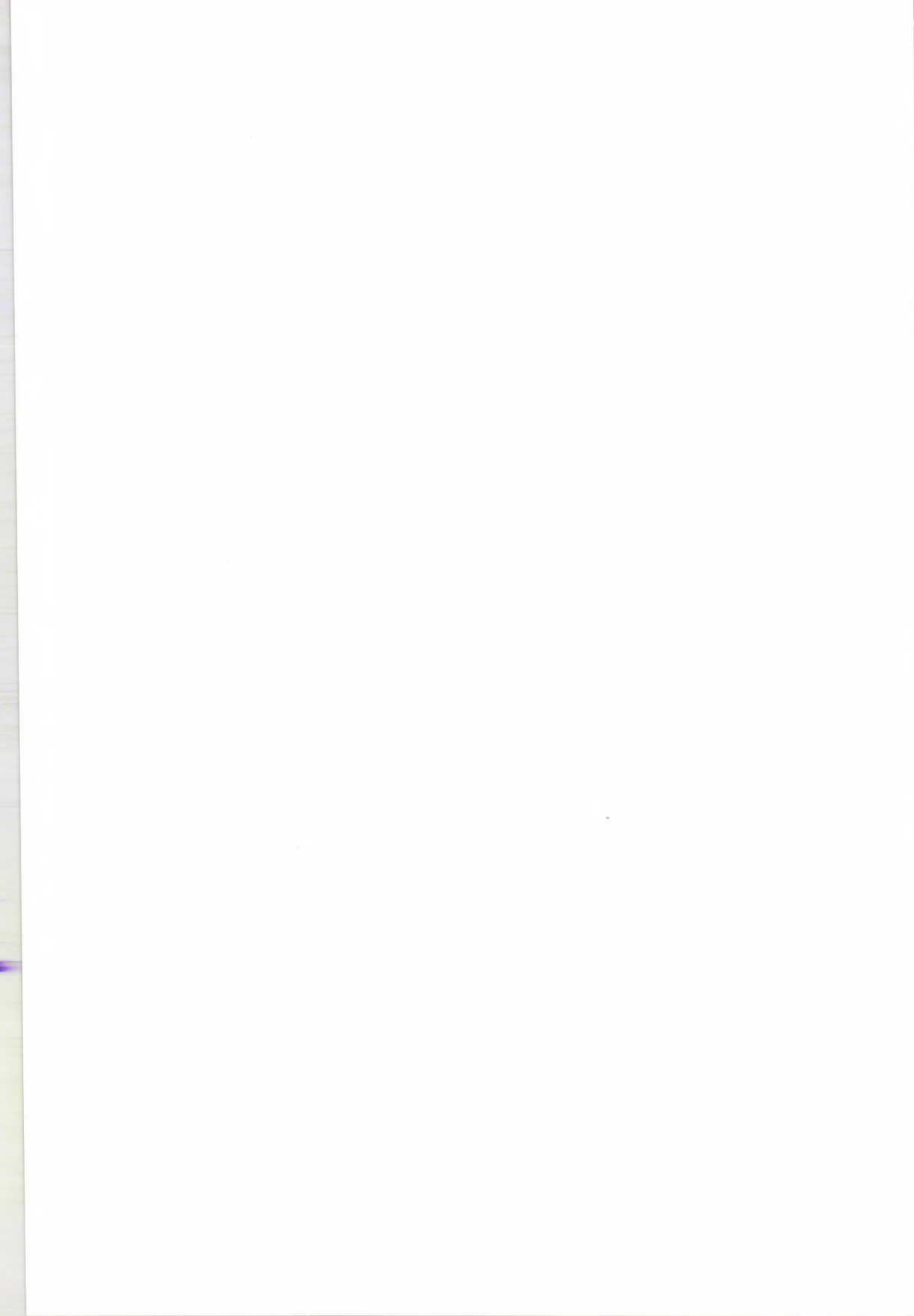
És már az *Úti jegyzetek*ben realizálódik az irodalmi nyelv, amelyről Martinkó joggal állapítja meg, hogy „az első olyan prózai írás a modern magyar nyelv történetében, melyet elejétől végig, minden szavában, minden nyelvtani eljárásában megért a mai olvasó... mely amikor közös, általános, egyéni is.” (1965:108.). Ebben a nyelvi változatban az egyetemességen kívül – hisz az egész magyarságot képviseli – ott van a normatív jelleg, az esztétikai gazdagság és az egységesség is.

6. Végezetül és összefoglalóan: Petőfi forradalmat hozott létre a magyar irodalmi és köznyelvben, költészetében és prózájában, tudniillik úgy alkotott nagyon is egyéni nyelvet és stílust, hogy nálánál nagyobb mértékben talán senki sem járult hozzá a beszélt nyelv lírai kiaknázásához és ezzel irodalmi és köznyelvünk létszerűbbé tételéhez, vagyis a magyar nemzeti nyelv igazi és teljes megteremtéséhez.

Irodalom

- Barta, 1975: Barta János: A Petőfi-élmény Arany János irodalomszemléletében. In: *Petőfi-mozaik*. Szerk.: Paál Rózsa és Weber Antal. Tankönyvk., Bp., é. n. [1975.] 44–70.
- Bárczi, 1963: Bárczi Géza: *A magyar nyelv életrajza*. Gondolat K., Bp.
- Benkő, 1960: Benkő Loránd: *A magyar irodalmi írásbeliség a felvilágosodás korának első szakaszában*. Akadémiai K., Bp.
- Benkő, 1988: Benkő Loránd: *A történeti nyelvtudomány alapjai*. Tankönyvk., Bp.
- Deme, 1955: Deme László: Az irodalmi nyelv hangállománya és a nyelvjárások. In: *Nyelvünk a reformkorban*. Szerk.: Pais Dezső. Akadémiai K., Bp., 27–82.
- Fekete, 1975: Fekete Sándor: Petőfi és Félegyháza. In: *Petőfi-mozaik*. Szerk.: Paál Rózsa és Weber Antal. Tankönyvk., Bp., é. n. [1975.] 199–207.
- Gáldi, 1958: Gáldi László: Mutatvány a Petőfi-szótárból. *Magyar Nyelv*, 54:322–333.
- Gáldi, 1973: Gáldi László: In: *Petőfi-szótár* I. Akadémiai K., Bp., 5.
- Gáldi, 1965: Gáldi László: Írói szótáraink fő kérdései, különös tekintettel a Petőfi-szótárra. *Az MTA I. Osztályának Közleményei*, XXII. 368–377.
- Illyés, 1936: Illyés Gyula: *Petőfi*. Nyugat K., é. n. [1936²], Bp.
- T. Lovas, 1955: T. Lovas Rózsa: A társalgási nyelv. In: *Nyelvünk a reformkorban*. Szerk.: Pais Dezső. Akadémiai K., Bp., 435–496.
- Martinkó, 1965: Martinkó András: *A prózaíró Petőfi és a magyar prózastílus fejlődése*. Akadémiai K., Bp.
- Martinkó, 1967: Martinkó András: Stílus és műfaji szándék. *Magyar Nyelvőr*, 91:322–328.
- Martinkó, 1969: Martinkó András: A vers születése. *Igaz Szó*, 1969. 7. sz. 122–123.
- Pais, 1955: Pais Dezső: *Nyelvünk a reformkorban*. (szerkesztés) Akadémiai K., Bp.

- Péter, 1976: Péter Mihály: Az irodalmi nyelv és a stílus kérdései a Prágai Nyelvész kör tanításában. *Nyelvtudományi Közlemények*, 78:409–416.
- J. Soltész, 1964: J. Soltész Katalin: Petőfi szimbólumai. In: *Tanulmányok a magyar nyelv életrajza köréből*. Szerk.: Benkő Loránd. *Nyelvtudományi Értekezések* 40. sz. Akadémiai K., Bp., 330–338.
- Szathmári, 1968: Szathmári István: *Régi nyelvtanaink és egységesülő irodalmi nyelvünk*. Akadémiai K., Bp.
- Szathmári, 1973: Szathmári István: Que doit notre langue littéraire à Petőfi? *Acta Linguistica*, XXIII., 279–291.
- Szathmári, 1975: Szathmári István: Petőfi és irodalmi nyelvünk. In: *Petőfi-mozaik*. Szerk.: Paál Rózsa és Wéber Antal. Tankönyvk., é. n. [1975], Bp., 219–233.
- Szathmári, 1980: Szathmári István: A nyelvi tudat(osság) alakulása Magyarországon a felvilágosodás korában. *Magyar Nyelv*, 76:157–165.
- Szűcsi, 1910: Szűcsi József: Petőfi költői nyelve. *Magyar Nyelvőr*, 39:12–16.
- Terestyéni, 1955: Terestyéni Ferenc: Az állami élet nyelve. In: *Nyelvünk a reformkorban*. Szerk.: Pais Dezső. Akadémiai K., Bp., 83–164.
- Tolnai, 1929: Tolnai Vilmos: *A nyelvújítás*. Bp.
- Tompai, 1955: Tompai József: Az irodalmi nyelv. In: *Nyelvünk a reformkorban*. Szerk.: Pais Dezső. Akadémiai K., Bp., 313–434.
- Zlinszky, 1922: Zlinszky Aladár: Petőfi nyelvéről. *Magyar Nyelv*, 18:189–198.



FILOZÓFIAI ÉS TÖRTÉNETTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

„ZENGEJÉK VISSZA AZ IDŐNEK BÉRCEI, A SZÁZADOK”

[150 év mérlegén: az 1848–49-es forradalom és szabadságharc]

Sikeres vagy sikertelen 1848-as forradalmak?

Az újabb történetírás mérlegei

A mikor mennyiségileg próbáltam felmérni az utóbbi évek nemzetközi szakirodalmi termését 1848-ról, az interneten keresztül az egyik nagy amerikai könyvtárközi katalógushoz intéztem a kérdést: milyen címeik vannak Európa, 1848 tárgykörében? Sokára érkezett a válasz az utóbbi tíz év óta adatbázisát építő könyvtárból: kétezer ilyen címünk van – s mindjárt jött is vele a gépi ajánlat: nem elégedne meg a kétszáz legfontosabbal?

Európa 1848-as forradalmait tehát folytonosan ott vannak a kutatás témái, a publikációk anyagai között. A bőség nem lenyűgözi, hanem zavarba hozza a kutatót. Ám ha a történész igazán fontos anyagokat keres, meglepetve látja, hogy 1848–1849 alapvető dokumentumai mennyire későn, néha csak a legutóbbi években láttak napvilágot. Van-e fontosabb dokumentuma pl. a magyar 1848-nak, mint minisztertanácsi jegyzőkönyvei? És még tíz éve sincs, hogy végre napvilágot láttak F. Kiss Erzsébet gondozásában. Az osztrák minisztertanács ez időbeli jegyzőkönyvei az olasz, magyar, német 1848-as események szempontjából egyaránt meghatározó jelentőségűek – és csak tavaly jelentek meg. A frankfurti ideiglenes német kormány jegyzőkönyvei pedig még mindig csak eredetiben tanulmányozhatók Frankfurtban, kiadásuknak még előkészületeiről sincs tudomásom. Kézíróknyvekből csak néhány év óta tájékozódhatunk, hogy kik voltak a képviselők Frankfurtban vagy Bécsben az alkotmányozó gyűlésekben; a magyar 1848-as népképviselők jegyzéke pedig alig néhány napja jelent meg Pálmány Béla gondozásában.

A feldolgozások bősége, a koncepciók zavarba ejtő sokasága mellett a megválaszolatlan kérdések egész sorát találjuk. Az alapkérdésekre ugyan fellelhetünk válaszokat, de egymásnak ellentmondóakat. Megteremthette volna-e az 1848-as párizsi forradalom már a század közepén a demokratikus Franciaországot? Volt-e esélye a német egység létrejöttének 1848-ban? A történészek eltérő válaszokat adnak ezekre a kérdésekre. Ha a válaszok különbözősége felől közelítünk, tehát ha pl. a német egység esélyeit illetően az igenlő és a tagadó választ adó nézeteket sorolnánk megjelenésük évszámjában, akkor úgy tűnne, mintha alig lenne a törté-

netírásban e korszakot illetően érdemi változás. Pedig a válaszok politikai, társadalmi, gazdasági, nemzetközi megalapozottsága mind elmélyültebb, a történetírás fejlődése – megítélésünk szerint – e téren is kétségbevonhatatlan.

A korszak historiográfiáját kezdettől és hosszú időn át a *nemzeti* álláspont uralta. Tematikusan a nemzetté válás, a nemzetállami fejlődés, annak esélyei álltak a kutatás középpontjában. 1848 e szemléletben állomás volt a sikeresnek tartott későbbi nemzetállam-alapítás irányában, vagyis az olaszoknak 1860, a magyaroknak 1867, a németeknek 1870 felől visszatekintve vált értelmezhetővé, fontossá; tehát vagy a megvalósulttól eltérő zsákutcának avagy éppen a teljes sikert netán idő előtt megkísértőnek számított.

A nemzeti szemlélet igazi konfliktusai azonban nem annyira az egyes nemzetek történetírásán belül, mint inkább a nemzetek közötti viszonylatban jelentkeztek. Szekfű Gyula például a maga korában rezignáltan állapította meg, hogy az egyes nemzeti szempontok összeegyeztetése, kibékítése nem lehetséges, a valóságos hajdani konfliktusoknak eltérő tudományos pozíciók felelnek meg. A nemzeti konfliktusok felől szemlélt 1848 meghaladását ígérte egy másik, a polgári-nacionalistával egyidős paradigma, a *marxista*. Marx és Engels aktív részese volt a '48-as eseményeknek, sőt politikai elképzeléseik lényegében a '48-as fejlemények általánosítására vezethetők vissza. Mivel a *Kommunista kiáltvány* 1848 februárjában jelent meg, s közeli forradalmat jósolt (ez volt Marxék egyetlen bevált próféciája), a marxisták kitartottak az ún. *permanens forradalom* elve mellett, vagyis hogy a polgári forradalomnak át kell nőnie szocialistába, amely majd feloldja a fennmaradó társadalmi, nemzeti ellentéteket. Pedig 1849 után vagy a koncepción, vagy 1848 értelmezésén kellett volna módosítani. Marxék az utóbbit választották, s tőlük származik az „osztályárulás” elmélete, amely szerint a francia burzsoázia a munkásosztálytól való rettegése folytán, a német burzsoázia a konzervatív erőktől való félelmében „elárulta” a forradalmat, vagyis nem teljesítette rá váró hivatását, nem valósította meg programját. A kutatás azóta kiderítette, hogy az „árulási” vádnak nincs alapja, mert egyszerűen nem volt sem a francia, sem a német burzsoáziának olyan programja 1848 előtt, vagyis a *Vormärz*ben, amelyet azután feladhatott, elárulhatott volna. Az akkori polgári elit alkalmatlan monarchiában, kompromisszumokban gondolkodtak, az állami szociális gondoskodást elutasították, tehát 1848-ban aszerint politizáltak, ahogy a forradalom előtt jövőre hatalomgyakorlásukat elképzelték.

Mindkét nézet – a polgári-nacionalista és a szocialista-marxista – lineárisan, illetve ok-okozati rendszerben próbálta értelmezni a történelmet; egy-egy végcél – a nemzetállam, illetve a szocializmus – felől. Századunk utolsó harmadáig a történeti irodalom kilenczetedét e koncepciók körébe csoportosíthatjuk, noha e nézetek *finomodása és kölcsönös áthatása* – előbbi (a finomodás) főként nyugaton, utóbbi (a kölcsönös áthatás) főképp keleten – persze végbement. A nacionalista és marxista nézetek jellegzetes kelet-európai egyeztetési kísérletének tekinthetjük, hogy Marx és Engels összes műveinek cseh nyelvű összkiadásából egyszerűen kihagytak egy-két, a szlávok 1848-as politizálását bíráló cikket.

Az 1960-as években kezdődött a *strukturális* szemlélet történettudománybeli érvényesülése 1848 terén is, s ez részint az egyes országokon belüli hatalmi-politikai-katonai erőviszonyok pontosabb feltérképezését, részint és főként a nemzetközi rendszer alaposabb mérlegelését hozta. Az állami és hatalmi rendszerek vizsgálata tette lehetővé, hogy azok az országok is „képbe kerüljenek”, ahol 1848-ban *nem* volt forradalom, majd ezt követően ezekben az országokban a forradalom *elmaradására*, illetve, ahol volt, ott a forradalom *kitörésének okaira* lehetett rákérdezni. Ekkorra már kiderült, hogy 1848 forradalmi hulláma, a népek tavasza, nemhogy modellértékű és ismétlődő történeti jelenség nem volt, hanem teljességgel egyedinek tekinthető – későbbi forradalmak csak a háborúvesztes országokban vertek hullámot. Olyan formában tették most fel a strukturális vizsgálatok a kérdést, hogy miért törtek ki egyáltalán forradalmak 1848-ban *egy időben*, s így új választ lehetett keresni általánosan bekövetkező kudarcaik közös vagy eltérő okaira is.

A népek tavaszának *sikere* mögül felsejlett a nemzetközi rendszer időleges megingása, a metternichi európai rend kudarca; a forradalmak *sikertelensége* mögött pedig kirajzolódott az európai államrendszer háttérben megkezdődő restitúciója, amely nem volt érdekelt a forradalmak végigvitelében, főként azért nem, mert az európai hatalmi rendszernek a nagyhatalmak önkorlátozásán alapuló paradigmája megingott ugyan, de még nem váltotta fel a (nemzeti vagy birodalmi) öncélúság politikája. Ez az absztrakt, a társadalomra kevesebb, a hatalmi rendszerekre több energiát fordító szerkezeti elemzés mégis felhívhatta a figyelmet 1848 *már és még* helyzetére, a meglévő vasutakra és távírókra, ámde az ipari forradalom késlekedésére, azután a bomló régi és az alakuló új termelési formák egyensúlytalanságaira, sőt egyes politikai program-elemzéseivel nemcsak a szocialisztikus, hanem a *polgári* politikai programok, jövőképek utópikus vonásaira is figyelmeztetett.

Az 1970-es, '80-as évektől pedig, amikortól az alcímbe jelzett „újabb történetírást” számíthatjuk, a *modernizációs elméletek* termékeny történetírói alkalmazása következett be az egész 19. század vonatkozásában, középpontjában az 1848-as forradalmak kutatásával és értelmezésével.

A modernizációs elmélet mindjárt megoldotta a *forradalom* fogalmának és megjelenésének gordiuszi csomóját, amikor a modernizációs folyamat nagy lendületeként, áttöréseként határozta meg azt, vagyis éppúgy meg tudta haladni a „történelem mozdonyai” és a „történelem kisiklott mozdonyai” ellentétes metaforáit, mint a mozdony nélküli vonatok haladásának problémáját.

A modernizációs elmélet egyszersmind a siker és/vagy kudarc fájó és izgató kérdésére, illetve annak miértjeire is választ tudott adni.

Túl sok volt a feladat, túlterhelte és ellehetetlenítette a megoldására vállalkozókat – hangzott az egyszerűnek tűnő, ám megalapozott felelet, amely ördögűzéssel ért fel, hiszen nem volt szükség „sötét” reakcióra, „áruló” burzsoáziára, „reakciós” hatalmi szolidaritásra. Sőt, a korábban minden eluralni, megmagyarázni (felmenteni vagy kárhozatni) látszó nemzeti problematika is a helyére került, éppen annak felmutatásával, hogy annak Franciaországban nem volt már

aktualitása, német földön pedig radikálisoktól, republikánusoktól kezdve a demokratákon, liberálisokon át a porosz konzervatívokig megvolt az alapvető célokat illető egyetértés (ti. abban, hogy *legyen* német egység) – aligha ebben keresendő tehát a kudarc oka.

Sőt, a modernizációs paradigma alapján sorra került kutatások, elemzések kérdőjelet tettek az „általános kudarc, vereség” hagyományos álláspontja mellé is. Ennek megértéséhez közelebb kell lépünk a modernizációs alapzatú 1848-as elemzések tartalmi szempontjaihoz, eredményeihez.

A közkeletű, mára már ismeretesen kissé elavultnak tekinthető modernizációs felfogás szerint általános (a gazdaság, társadalom, gondolkodás minden szférájára, illetve az egész földkerekségre kiterjedő), a tradicionális világból a modernbe (a változó, befejezetlen jelenbe, de mégis a *jelenbe*) tartó átalakulási folyamatról van szó, konkrétan például a feudalizmusból a létező kapitalizmusba, avagy bárhonnan a létező szocializmusba végbemenő átmenetről Európában, Ázsiában vagy Amerikában. Az 1848-as Európában pedig konkrét, aktuális feladatai három létrejött válság kihívására adott válaszaiként határozhatók meg, éspedig az *integráció* (vagy emancipáció), azután a *participáció* (vagy részvétel) és a *legitimáció* (igazolás, elfogadtatás) válságaira adott feleletekként. Mindegyik kérdéskör önmagában is számos alrendszeret érint, az egyes országban eltérőeket, illetve az azonosakat az egyes országokban eltérő súllyal.

Az első kérdéskörbe (integráció, emancipáció) tartozik a jobbágyfelszabadítás, az iparszabadság, törvény előtti egyenlőség, zsidó-emancipáció éppúgy, mint a nemzeti-nemzetiségi kérdés, közteherviselés vagy netán a munkához való jog, a szociális biztonság minimuma. Már e néhány elem felsorolása érzékelteti, hogy a kurdarcok mellett milyen összeurópai sikerek is lesznek regisztrálhatók, hiszen Közép-Európában visszavonhatatlanul végbement a jobbágyfelszabadítás, megmaradt a törvény előtti egyenlőség, szabaddá vált az iparúzés és így tovább. Az állam ugyanakkor – a forradalom néhány hónapnyi periódusától itt-ott eltekintve – sehol nem vállalta a szociális minimumot vagy a munkához juttatás biztosítását. Összességében kudarcról beszélni e szférában mégis mindenképpen túlzás, noha az integrációs kérdések legfontosabbika, a nemzeti-nemzetiségi kérdés terén 1848–1849 kevesebb eredményt mutathat is fel. Körültekintő elemzések mutatnak rá ugyanakkor arra, hogy nacionalista kórusok dacára a német egységet az 1848-as német nemzetgyűlés végül is csak a *Német Szövetség* határain belül képzelte el, vagyis lemondott a határok nyelvi alapú újjárendezéséről, avagy hangsúlyozzák azt is, hogy a magyarországi nemzetiségi ellentétek kompromisszumos kiegyenlítődési folyamata is megindult az 1849-es magyar nemzetiségi törvénnyel. A korabeli nemzetiségi „megoldást” számonkérőkkel szemben pedig arra lehetett rámutatni, hogy az 1848-as nemzetiségi konfliktusok tömkelegéből az érintettek belenyugvását is elérő első rendezés csak 1921-ben, a dán–német területi vita lezárulásával következett be, s lakosságcsere nélkül azóta is csak az olasz–osztrák konfliktus lezárulása regisztrálható.

A második kérdéskör, a *participáció* modernizációs „csomagja” a társadalom részvételét jelenti az államügyekben: a népképviselet bevezetése, a választójog

megadása vagy bővítése, egyszerűen új alkotmányos viszonyok megteremtése áll középpontjában. Tágabb értelemben a jogi biztosítékok, „részvételi lehetőségek” mellett maguk a társadalmi részvétel eseményei is vizsgálhatók. Éppen ilyen irányú kutatásokból vált ismertté, hogy a nők ekkor kapcsolódtak be először tömegesen az aktív politikai cselekvésekbe, tüntetések résztvevőiként, a politikát közvetve befolyásolókként, a férfiak szerepvállalásainak családon belüli eldöntőiként. A társadalomtörténeti értelemben vett *részvétel* – aktivitás, mozgósíthatóság, azonosulás – a magyar történetírásban is hangsúlyt nyert szempontjai: vagyis a tömeges jelenlét politikai események alkalmával, illetve ezen folyamatok visszafordíthatatlansága valóban 1848 vissza nem vehető modernizációs vívmánya volt.

A *részvétel* kérdése veti fel egyszerűs mind az eltérő társadalmi érdekek érvényesítésének (pontosabban: felismerésének, felismertetésének és érvényesítési módjának) problémáit, amelyek messze túlmutatnak a formális-alkotmányjogi participáció kérdéskörén. A társadalmi konfliktusok megjelenése, megjelenítése, feloldása – kompromisszumok keresése vagy a konfliktusok végigharcolása – 1848 új jelensége volt, hiszen korábban a társadalmi csoportok – kis túlzással – mit sem tudtak egymásról, csak feltételezéseik voltak egymás vágyait, törekvéseit illetően. (Gondoljunk csak az osztrák tartományok felszabadított jobbágyságának csatlódást okozó politikai közömbösségére vagy az ugyancsak felszabadított magyarországi nemzetiségi jobbágyság meglepődést okozó nemzeti szempontú mozgósíthatóságára, ennek külső tényezőkre visszavezető értelmezésére. A „történelem nélkülinek” nevezett kis népek belépése a történelembe 1848-nak köszönhető.)

Mégis, az alkotmányosság, a demokratikus államberendezkedés – Franciaországot is érintő – általános kudarca számított annak a deficitnek, amely lehúzta 1848–1849 sikerméregét. A három érintett nagy nemzet – a francia, a német és az olasz – demokratikus átalakulásának kétségtelen megghiúsulása, annak szükségszerű vagy nem szükségszerű volta állt a régebbi vizsgálódások középpontjában. Elkerülte viszont a figyelmet a strukturális, a nemzetközi rendszerre figyelő elemzések során, illetve ellenkezőleg, hangsúlyt nyert az újabb, modernizációs szemléletben, hogy a szélárnyékba húzódó kisebb országok közül több folytonosan büszkélkedhet 1848-as alkotmányosságával. Három kisebb európai ország alkotmánya a mai napig megszakítás nélkül 1848-ból származik: Svájc, Hollandiáé és Dániáé – az utóbbinak még nemzeti ünnepe is innen veszi eredetét. A teljes körű számbavétel még többre figyelmeztet. A Szárd Királyság 1848. áprilisi – egyébként az előzőektől eltérően: oktrojált – alkotmánya fennmaradt, s ez lett az egyesült Olaszország alaptörvénye is, s érvényben maradt a köztársasági alkotmányig, 1947-ig, vagyis majd száz éven keresztül. A német egységfolyamat szempontjából nagy jelentőségű volt, hogy Poroszország 1848 decemberében oktrojált alkotmánya fennmaradt, ez a királyság ekkortól alkotmányos országnak számított, s ezen alapult államélete 1918-ig. A magyar alkotmányról, az áprilisi törvényekről sem feledkezhetünk meg ebben a sorban, hiszen 1867-ben – módosításokkal – helyreállott azoknak érvénye, s a választójog és a választás

rendszere 1913-ig, a népképviselői, miniszteri felelősség rendszere 1949-ig, a Rákosi-féle alkotmányig érvényben maradt. Még a kudarcos cseh forradalom számára is az 1848. április 3-i „cseh charta”, egy akkori uralkodói nyilatkozat, maradt a nemzeti jogok szerzésének hivatkozási alapja a 20. századig.

1848 tehát a társadalom államéleti részvételét, participációját tekintve semmiképpen sem veszett el az idők folytában, nem maradt szalmaláng Európában.

Végül a *legitimáció* nehezebben konkretizálható, harmadik problémaköre 1848-ban az Isten kegyelméből való uralkodás helyébe léptetendő új, a népszuverenitáson vagy a „nép” és a „korona” szövetkezésén alapuló hatalomgyakorlást jelenti. Az 1848 előtti időszak legitimációs válsága – a forradalom által érintett országokat tekintve – nyilvánvaló. Tény az is, hogy a válság feloldását célzó programok közül a köztársasági eszme csak Franciaországban volt népszerű, másutt a manifesztálódó többség a dinasztikával törekedett új „szerződések” kötésére. Az 1849-re látszólag változatlan dinasztikus pozíciók mögött mégis engedmények és változások egész sorát regisztrálhatjuk. A belga király elsők között szorgalmazta a választójog kibővítését, a holland király maga hangoztatta, hogy „konzervatívként feküdt le, s másnapra liberálisként ébredt”. Alkotmányt adott a szárd, a porosz király, egyet adott 1848 áprilisában az egyik, egyet ígért 1849 márciusában egy másik osztrák császár, alkotmányt szentesített a magyar és a dán király. Trónváltások sora – a dán, a holland, a bajor, a szárd, a kétes értékű osztrák – jelzi a legitimációs *kényszert*. A látható változások, az új alkotmányok és a trónváltások mögött a legitimációs fejlemények mélyebb, tudattörténeti jellegű feltárására is szükség volt, s a modernizációs történetírás e téren is mutathat fel eredményeket. Jelentős ezek sorából a *szociálkonzervatív* tendenciák feltárása, vagyis az, hogy a régebbi történetírás által már bemutatott reakciós-konzervatív erők mögé alkalmanként felsorakoztathatóak voltak azok a tömegek, amelyek ellenezték az iparszabadságot, mert féltek a konkurenciától, hasonló okokból ellenezték a zsidó-emancipációt, alkalmanként engedélyhez kötötték volna még a házasságkötést is, vagy ragaszkodtak az egyházi iskolákhoz, féltek a patrimoniális gondoskodás elvesztésétől és így tovább. – A csak a császárt hatalomként elismerő közvetlen „parasztdemokrácia” anarchisztikus törekvéseinek vagy a görögkeleti vallású nemzetiségek teokratikus politikai törekvéseinek bemutatásával viszont még adós történetírásunk.

Az újabb elemzések nyomán kibontakozó 1848-as európai összkép összességében mégis jóval kedvezőbb mérleget mutat, mint a korábbi értékelések. Emellett a „kudarcok” és az *esélyek* is új megvilágításba kerültek. Elég, ha a legnagyobb kudarcot, a német egység meghiúsulását nézzük meg e történetírás mérlegén. A korábban alkotott kép, ismeretesen, eléggé lehangoló. Akár Bismarck, akár a forradalom híveként, de az 1848-as frankfurti egységmű mint „parlamenti kretenizmus”, idővesztés, fecsegés, illuzionizmus, pártoskodás ábrázoltatott. A modernizációs szemléletben az első össznémet népképviselői parlament működése sikeres, hiszen gyorsan létrejött, megalkotta és betartotta működési szabályait, végrehajtó hatalmat teremtett, vitái demokratikus keretek között maradtak. Az alapjogok 1848 nyári-őszi vitájához köthető „idővesztés” vádja ott oszlott el,

hogy a tartalmi elemzés megmutatta: ez a vita nem doktriner, jogászai szörszálhasogatás volt, hanem akörül forgott, hogy a jövő német állama a szociális alapjogokat is biztosítja-e, vagy csupán az „éjjeliőr”, a liberális, a gazdasági-társadalmi folyamatokba nem avatkozó állam megteremtésére tesz-e kísérletet. Vagyis az 1848-as német alkotmánytervezetek már az alapjogok „második nemzedékével”, a szociális jogokkal is foglalkoztak – ez utóbbi iránti igényt fejezte ki a köztársasági államforma követelése, míg az alkotmányos császárság hívei a hagyományos államiság körében maradtak volna. Először pedig ezeket a kérdéseket kellett tisztázni, azután lehetett alkotmányt szövegezni. Az ellentétek sokáig kiegyenlíthetetlennek bizonyultak, ám az utolsó pillanatban, 1849 márciusában, a nevezetes *Gagern–Simon paktummal*, ahol a köztársaság hívei elfogadták a császárságot mint államformát, a császárság hívei pedig az általános választójogot, a konzervatív forma mögötti demokratikus tartalmat, olyan kompromisszum született, amely lehetővé tette az alkotmány megalkotását. Az átalakulás híveit tehát legalábbis kevesebb felelősség terheli, ha felelősség terheli egyáltalán. A berlini porosz nemzetgyűlés alkotmányos konfliktusainak feltárása pedig a „porosz” államiság abszolutisztikus hagyományainak túlnyomó voltát segítette megcáfolni. Ekként az újabb német történetírásban megalapozott, persze korántsem egyeduralgó vélemények születtek arról, hogy volt esélye a német egység megvalósításának 1848–1849-ben.

Összességében pedig ez újabb történetírás szerint 1848 „kudarcai” az integrációs, participációs, legitimációs problémák, válságok, kihívások olyan együttes jelentkezésének számlájára írhatók, amelyeket együttesen és sikeresen nem is lehetett megoldani. A kezelés elkezdődött, és egy évszázadon át folytatódott. 1848 ekként nem egy korszak vége, nem egy korszak kezdete, hanem egy átalakulási folyamat jelentős – ha nem legjelentősebb – csomópontja.

A modernizációs szemléletnek, itt csak jelzett igen jelentős eredményei mellett, gyenge pontjai is mutatkoztak. A „modernizáció” semleges kategóriája mögött a nemzeti és politikai szabadságjogok iránti bizonyos fokú közömbösség is megbújhatott. Az 1849 után Európa-szerte érvényesülő „gazdasági liberalizmus”, az ipari fejlődés felgyorsulása egyeseknél relativálhatta, viszonylagossá tette a korabeli politikai célkitűzéseket. Ismét érvényesülhetett a hegeli „ész csele”, ahol nem annyira az egykorú célkitűzések, értékállítások, hanem a civilizációs eredmények számítanak. Ekként a „réálpolitika” éppen 1849 után megfogalmazódó programja megjelenhetett mint 1848 „modernizációs” mércéje is. A „modernizáció” letéteményese lehetett az ellenforradalmi Habsburg-hatalom – ezzel próbálkozott az osztrák történetírás –, mondván, hogy a nemzeti törekvések visszaszorítása végtére is kedvező modernizációs keretet teremtett.

1989–1990 forradalmi változásai, az utolsó többnemzeti államok felbomlása nemcsak ez utóbbi tézist kérdőjelezték meg, hanem a modernizációs paradigmát is felváltották a *rendszerelváltó* paradigmával, amely egyként alkalmasnak bizonyult a forradalmi, továbbá a nem forradalmi de rögtönös, illetve a fokozatos változások, konkrétan az 1848–1849-es európai események rendszerezésére, értelmezésére és értékelésére. Különös figyelmünkre lesz érdemes, hogy a közép-

kelet-európai történetírások, amelyek többsége Csipkerózsika-álomba merülten élte át a modernizációs szemléletű feltárásokat, bekapcsolódni töreksenek az 1848-as változások legújabb, rendszerváltó paradigmán alapuló feldolgozásába, amely a korábbi rendszerszemléletű (strukturális) szempontokat a folyamatszerű elemzésekkel egyesíti. Nem annyira 1848–1849 és 1989–1990 folyamatainak összehasonlíthatóságáról van itt szó, hanem arról, hogy csakugyan most látszanak lezáródni – a Balkán kivételével – azok a folyamatok, amelyek nagy erővel, dinamizmussal 1848–1849-ben jelentek meg az európai kontinensen, s így lezárulván, egészet alkotván, kívülről – nem belülről, az egészet még nem látva – válnak értelmezhetővé, értékelhetővé. Újabb szintéziseknek nézünk tehát elébe, amelyek megalkotásából a magyar történetírásnak is ki kell vennie a részét.

SZÁSZ ZOLTÁN

A nemzetiségek és az 1848-as magyar forradalom

Történeti közgondolkodásunk egyik rejtett, lappangó de mégis központi problémája a történeti Magyarország nemzetiségi világának megértése, noha tankönyvekben, összefoglaló művekben a régi országunk fele népességét adó nem magyarok inkább csak függelékként, átugorható másodrendű fejezetek formájában szerepelnek, s a különböző korok magyar nemzetiségpolitikai gondolkodásának elemzése mögött háttérbe szorulnak.

1848 azonban kivétel ebben is. A nemzetiségi ügy a legsúlyosabb kérdéssé válik; nemzedékekre meghatározza magyarok és nem magyarok viszonyát, az utókor számára is megkerülhetetlen.

A „népek tavasza” útjára indította a nemzetiségek önállósodási mozgalmát. Történeti távlatban vizsgálva, a nem magyarok többsége nemzetté alakulásának katalizálása a magyar forradalom egyik legjelentősebb – magyar nemzeti szempontból egyben fenyegető veszélyeket is teremtő – eredménye.

A társadalmi és a nemzetiségi kérdés összefonódása jó ideig eltakarta a magyar liberálisok elől a hazai nem magyar népek nemzeti ébredésének közvetlen jelentőségét. Természetesen látták a szerbek, románok, szlovákok, főként a horvátok kulturális-szellemi felemelkedési kísérleteit, öntudatuk növekedését. A szabadelvű és konzervatív gondolkodók már az 1840-es évek elejétől visszatérően foglalkoztak a követendő út kérdésével. A liberális felfogás az érdekegyeztetés gondolatából kiindulva képviselte a magyar reformnacionalizmust: a nemesség lemond kiváltságairól, az alkotmány sáncaiba beemeli az ország népét – a nem magyarokat is, utóbbiak viszont cserében lemondanak elkülönülési igényeikről, elfogadják a politikai és igazgatási szféra magyar nyelvűségét. A szabadelvűek nyugatról átvették az államegység s vele az egynyelvűség imádatát, noha tudták, hogy idehaza mennyivel nehezebb ennek megvalósítása, mint korábban Angliában és Franciaországban. De hitték és még inkább hinni akarták, hogy „a polgári szabadság és az e szabadságot biztosító alkotmány” megteremtői magukhoz vonhatják a nem magyarokat, értelmiségük számára vonzóvá teszik még magát a magyarosodást is. Az pedig nyilvánvaló, s egyben fájdalmas perspektívát villant

fel a kortársak szemében, hogy a nem magyarok nagy statisztikai részaránya mellett minden érdemi jogkiterjesztés a magyar etnikum politikai súlyának csökkenéséhez vezethet. Herder intelme a magyarságnak a szláv tengerben való elmerüléséről jó ideje külön is ösztönzően hatott a megújító reformok politikájára, a magyar etnikum erőinek koncentrálására, összekötve azt a közélet magyarosításával. Ez pedig Kossuth és Wesselényi nemzedékének felfogásában nem jelentett kevesebbet, mint hogy francia és amerikai mintára a kormányzás, közigazgatás, közoktatás nyelve a magyar kellene legyen. A reformkor a még száz-ezer ember számára sem használatos latin helyett bevezette a magyar igazgatási nyelvet, ami önmagában véve nagy előrelépést jelentett, de megbolygatta a nemzeti öntudatra ébredés fejlődési stádiumába érkezett magyarországi népek közötti kényes, immár átpolitizálódó egyensúlyt. Mert célkitűzéseiben – s egyáltalában nem valóságosan – belenyúlt az egyházi és iskolai életükbe is, az oktatás megálmodott magyarosításával a nemzetiségi értelmiség előtt népiségük eltűnésének, de legalábbis nemzetté alakulásuk megakadályozásának rémképét villantotta fel.

A nemzetiségek vezető értelmisége a központi szervek magyar nyelvűségét – „a magyar diplomáciai nyelvet” – történeti és reálpolitikai megfontolásokból elfogadta, a magyarosodás erőltetett ajánlatát, annak realitását persze jócskán túlbecsülve, mereven elutasította. A nyelvkérdésben a frontok megmerevedtek, állóháború alakult ki.

A nemzetiségi mozgalmak kibontakozása

1848. április 29-én Wesselényi Miklós beszédet mondott a pesti Radical-körben, melyben a nagy átalakításokat kísérő külső veszélyek, a bécsi bürokrácia, a horvát bán, Jelačić várható szerepére, egy esetleges orosz intervencióra hívta fel a figyelmet, s egyben – nem először – a nemzetiségi kérdésre. Az abszolutizmus és bürokrácia erői mozgósítják a délszlávokat – mondotta. Föl kéne világosítani a nemzetiségeket, hogy az országban mindenkinek javát szolgálja a közös szabadság. De fegyverkezni is kell!

Látnoki szavak? Mint annyiszor Wesselényinél. Vagy két év történelmének menete előre be volt programozva?

*

1848 márciusa először még a magyarok és nem magyarok egyetértését ígerte. Az európai forradalmakat és a pesti forradalmat, az alkotmányosságot mindenki örömmel fogadta. A román vezérpublicista Bariț könnyezett a hírre, élete nagy, örömteli pillanatának tekintette, néhol szászok és románok éltették a pesti 12 pontot, uniópárti román röpirat is készült. Szlovák lelkészek Kossuthért lelkesedtek, a szerbek rokonszenvtüntetések tartottak, Stratimirović magyar kokárdával jelent meg az újvidéki szerb gyűlésen...

A nemzetiségek soraiban azonban a lelkesedésnél jóval nagyobb volt a vára-kozás, a nemzeti szabadság utáni vágy. A szerény lélekszámú nemzetiségi értelmiségi elit még elfogadta a magyar nyelv (s ezzel a magyar nemzet) közéleti hegemoniáját, de a szerbek önálló nemzetként való elismerésüket is kérték, a szlovákok áprilisban ugyanezt követelték a maguk nemzetére, s egyben a megyék hivatalos nyelvének a szlovákot kívánták. A lelkes Hurban szerint „az országban annyit érünk, mint bármely más nemzet!”. A fiatal erdélyi román ügyvédek többségi megyéikben a román hivatalos nyelvet akarták bevezetni. Erdély és Magyarország unióját pedig nem fogadták el mint eldöntött tény, hanem alkufolyamatnak képzelték el, melynek feltétele, hogy előbb ismertessék el a román is mint külön nemzet.

Néhány rövid hét leforgása alatt a közös eufória eltűnt, a nemzetiségi elitek a nemzeti önállósodás útjára léptek. Az ugyan távolról sem volt világos, hogy mit is jelent ez az állam jövője szempontjából – bár erre is voltak elképzelések –, április–májusban elsősorban önmaguk megszervezésével, a „nemzetté válással” kellett megküzdeniük.

Az átalakulás és fejlődés dinamikáját jól jelzi a délvidéki szerbek és a magyar kormánytényezők első – s egyben sokáig utolsó – kapcsolatfelvételének azóta már legendásan jelképes története. Stratimirovićek április elején Pozsonyban és Pesten tisztességes fogadtatásban részesültek, nyelvi, hivatalviselési jogokra ígéretet kaptak, azonban az akkor még jóindulatú két küldöttség a szerbek külön nemzetként való el nem ismerése miatt a fegyveres konfliktust előrevetítő drámai és patetikus szóváltásba bonyolódott, s még ma is vitatjuk, melyik fél használt fenyegetőbb kifejezéseket, mondta-e egyáltalán Kossuth, hogy „majd dönt a kard...”.

Április 14-én, majd május közepén egy karlócai szerb nemzeti gyűlésen a szerbek külön kormány szervezetet (odbor) választanak, s az egész délvidékre kiterjedő szerb vajdaságot követelnek. Rajačić érseket metropolitának, Suplikać ezredet vajdának nyilvánították, „helyreállítva” ezzel a 17. század végi szerb kiváltságokat. A szerb nemzetiségű határőrezredek csatlakozásával megszületett a sajátnak érzett haderő, melyet majd valóságos és álönkéntesek egészítenek ki, egyúttal megindult egy teokratikus színezetű saját fél-államiság kiépítése. Nem csoda, hogy elsőként éppen a Délvidéken dördültek el a fegyverek.

Tisztán spekulatív megközelítésben a horvát kérdés megoldása lehetett volna a legegyszerűbb, hiszen a tartomány százados autonómiával, külön országgyűléssel, a társadalom viszonylag fejlett (teljes) szerkezettel, a magyarhoz rokonítható történeti tudattal bírt. A horvát autonómiát az új magyar kormány is elismerte. A tavasz folyamán azonban a horvátok a teljes önállóság, egy Fiumét, Dalmáciát, Szlavóniát magában foglaló külön állam igényléséig jutottak el, s csak perszonáluniót akartak elismerni. Ez még akár tárgyalási alap is lehetett volna, hiszen Kossuth 1842-től javasolta Horvátország különválasztását. Azonban Jelačić 1848-ban oly mértékben a bécsi ellenforradalmi körök szövetségébe vitte a horvátokat, hogy a konfrontáció már nem tette lehetővé az „elszakadás” tárgyalásos lebonyolítását. A pesti kormány csupán beletörődhetett a horvátok különválásába.

Szinte azonos a szerbekkel az erdélyi románok útja. Előbb üdvözik a forradalmat, azután tiltakoznak Erdély és Magyarország uniója ellen. Május 15-én Balázsfalván egy engedélyezett nagygyűlésen külön nemzetté nyilvánítják magukat, jelképesen is félreteszik az ortodoxok és görög katolikusok ellentéteit, majd – a szerbekhez képest lassabb ütemben – őszig kialakul saját politikai szervezük: a saját kormánynak szánt szebeni ún. békéltető bizottság. Támogatást kapnak a román határőrezredektől, a császári hadvezetéstől, s nemzetőrség gyanánt népfelkelő alakulatokat szerveznek. Ahogy a szűkebb belső magyar földön állomásozó (birodalmi) haderő egy része lett a magyar kormány új véderejének bázisa, úgy a románoknál, szerbeknél, horvátoknál a (birodalmi) helyi határőralakulatok lettek részben vagy egészben a saját nemzeti véderő egységei, ezt egészítették ki – magyar módra – nemzetőrségi, népfelkelő csapatokkal. Amikor az uralkodó júniusban minden magyarországi haderőt, így a határőrvidékeket is a pesti kormány alá rendeli, már késő; a régi hadsereg nemzetiségek szerinti megomlása horvátoknál, szerbeknél, románoknál már előrehaladt, a folyamatot visszafordítani nem lehetett.

Míg a szerbek és az erdélyi románok a különválás útjára léptek, addig a szűkebb Magyarországon élő románok és a szlovákok inkább a magyarokkal való *modus vivendi* keresték. Liptószentmiklóson május 10-én a szlovákok is nemzetté nyilvánították magukat, nyelvi jogokat, autonóm területet kívántak; ezt a mozgalmat azonban Pestnek sikerült elfojtania, de persze szövetségesnek nem nyerte meg a szlovákokat, míg a magyarországi románok – ha nem is viták nélkül – megmaradtak a forradalom táborában. Mint ahogy kitarítottak a magyar oldalra (a szászokkal ellentétben) a svábok és a ruszinok.

A nem magyarok tavaszi szervezkedésének csúcspontjai az újvidéki, balázsfalvi, lipótszentmiklósi április–májusi nagygyűlések. Ezek valójában nemzeti „országgyűlés-előzményeknek” számítottak, az önállósodás egyik fontos állomását, intézményesülését jelentették. Az immanens tendencia a Pesttől való elhatárolódás erősödése. Jól mutatja ezt a (külön államalakítást nem tervező) szlovákok május 10-i lipótszentmiklósi értekezlete: föderatív Magyarországot kíván, élesen elkülönülő felsőoktatást, nemzetőrsegeket, ijesztően hangsúlyozva az elmagyarosodottak, az „elfajzott nemzetárulók” számára a hivatalviselés tilalmát is. Persze, mert a nemzetté alakuláshoz el kellett határolódni a magyaroktól, a szélesebb szlovák népesség előtt el kellett zárni azt az utat, melyre a szlovák nemesség lépett: nyelvét túlnyomórészt megtartva, a magyar politikai nemzetbe integrálódott. (Az új nemzeti vezetőket itt nem követte a nép, ezért is tudta a kormány a szlovák nemzeti mozgalmat rendészeti úton viszonylag könnyen felszámolni, a vezetőket csupán pánszláv agitátoroknak tekinteni.)

Bizonyos részletek, szimbolikus mozzanatok kiegészítik a határozatokból alakítható képet. Balázsfalván például magyar parasztok is voltak a gyűlésen. Félelemből, paraszti szolidaritásból, vagy éppen asszimiláció útján járók. Amikor ezek lelkesedésükben állítólag azt mondták, hogy ezentúl románok akarnak lenni, a válasz az volt: nem, ti csak maradjatok külön! A két román főpap testvérré fogadta egymást, az unitus–ortodox ellentétet csökkentendő. A császári katoná-

ság időnként ágyúból díszlövést adott le, ami erősítette a Bécsbe vetett hitet. Földszített parasztfiatalok alakzatban vonultak el a parancsnok előtt, mintegy előrevetítve az eljövendő katonás szervezkedést.

A nemzetiségi nagygyűlések általában demokratikus hangvételben követelték a jogegyenlőséget, a jobbágyfelszabadítást, a nemzetőrséget, a szólás- és sajtószabadságot, a papság és az oktatás állami dotációját, mintha ezek nem is lennének a magyar kormányprogramban vagy már a pozsonyi törvényekben. Még a pesti 12 ponttal megegyező, a magyarral közösnek látszó célkitűzések, társadalmi igények is az elkülönülési folyamatban fogalmazódnak meg. Mert nemcsak „ajándékként”, hanem a társadalmi reformokra saját „nemzeti vívmányként” is szükségük volt, külön nemzeti egységük megteremtése, a népi rétegek megnyerése céljából. Ezért volt erősen csökkenő szimbolikus jelentősége számukra annak, amit a magyar kormányzat „adott”, ezért nem elsősorban fejleszthető-fejlesztendő közös kiindulási alap, még csak nem is alkudozási alap, hanem az első hetek elmúltával szemükben az egész magyar reform „idegen”, egyre inkább nemzetellenes manipuláció (Bănuțiu: „mérgezett a magyar szabadság asztaláról vett falat”), miközben a tartalmak számottevő részben egybeesnek. Forma és tartalom szétválása így lesz egyik összetevője a konfliktusoknak.

A nagy átalakulással járó társadalmi feszültségek, a „magyar nemesség” és „nemzetiségi jobbágyok” valós, de felnagyított szembenállása, kölcsönös félelmek, a „nemzet fenyegetettségének” érzete, rémhírek és valós, de helyi konfliktusok, a gyanakvás – hogy pl. a magyarok a „jó császár” helyébe saját református királyukat állítják – együttesen szinte kényszerűen vezetett a polgárháború tragédiájába. S nem kevés felelőssége volt ebben – ha nem is egyforma mértékben – az agitáló nemzetiségi értelmiségnek, a magyar politikai elitnek vagy éppen az országgyűlésnek. Ahogy a bécsi parlament szeptember elején elutasította a magyar országgyűlés tárgyalni érkező küldöttségét, úgy a pesti parlament sem kereste a kapcsolatot a hazai nemzetiségek „országgyűlés-kezdeményeivel”. Pest csak liberális racionalizmussal tudott reagálni, egyes konkrét követeléseket akart megvizsgálni, Karlócat, Balázsfalvát, Liptószentmiklóst tárgyalópartnernek nem fogadhatta el. A kétféle jogi-szimbolikus gondolkodásmód nem vagy csak hosszú, békés tárgyalás-sorozattal volt összeegyeztethető, ehhez pedig nem maradt idő, türelem.

A nemzetiségi mozgalmakat kezdettől lényegesen befolyásolta Bécs és Pest politikai párharca. Az udvari és katonai körök kezdettől számoltak a magyarok és nemzetiségek súlyos összetűzésével. Augusztusig ebben inkább a semleges békítő fél köpenyét vették magukra, szeptembertől azonban eljött a nyílt kártyákkal folyó játék kora. Bécs szembefordult Pesttel, a nemzetiségi mozgalmak teljesen betagozódtak az osztrák–magyar háborús konfliktusba.

1848 nyarán, kora őszen még voltak figyelemre méltó kezdeményezések magyar részről a nemzetiségi kérdés, főleg a román kérdés törvényi rendezésére, októbertől – egyes kisebb békülési tapogatózásokat nem számítva – az ügyet 1849 késő tavaszáig félretették. A fegyvereké volt a szó. Az ellentétes érdekek, a kölcsönös bizalmatlanság, a tévhit, a manipulált és vak félelem a polgárháború ismert tragédiájába taszította az országot.

A kortársaktól s a történetírásból vulgarizálódott közhely, hogy a nemzetiségek hagyták magukat elcsábítani a bécsi körök fondorlatos szabadságígéreteitől. Valójában ennél többről van szó. Ezek az alakuló nemzetek a polgárháború konfliktusában egy szabadságteret is nyertek maguknak. Úgy szerveződtek, mint valaminő nagy gerillaalakulatok, amelyeket csupán távolról s kevésbé támogatnak, a központból csak részlegesen irányíthatnak. (Bécs és a nemzetiségek együttműködése távolról sem volt harmonikus.) Ez a politikai szabadságtér azonban csak addig létezik, ameddig a háború tart. Ugyanakkor e rövid, de felfokozottan aktív intervallum a nemzetek konstituálódása szempontjából – már a kortársak is tudták – döntő fontosságúnak bizonyult.

A konfliktusok, éppúgy, mint az összeütközés teljes vagy részleges elmaradása (a szlovákok és ruszinok esetében) azt is jelzik, hogy a nemzetiségek számára nem csupán egyetlen fejlődési út létezett.

De ez már átvezet a „mi lett volna, ha” tilalomfája alá. Annyit azonban megkockáztathatunk, hogy a kortársak rövidlátásának, korlátainak, elfogultságainak, bűneinek mégoly jogosult katalogizálása mellett indokolt egy olyan megközelítés is, hogy ha nem következik be nagyhatalmi beavatkozás, a konfliktusokon keresztül, az új belső erőviszonyok alapján magyarok és nemzetiségek újrarendezték volna egymáshoz való viszonyukat.

A „havasok királya”, a román Avram Iancu 1849. június 27-én azt írta az Érc-hegységből a magyaroknak: „még agóniánkban sem tudunk egymással közelebb-ről értekezni”. Félig volt igaza. Történeti köztudatunkból kiveszett, hogy a polgárháború ideje alatt ismétlődően voltak békekísérletek mind a román, mind a szerb frontokon. Ezek is előkészítői a példás és tisztességes szegedi nemzetiségi törvénynek, országgyűlési határozatnak.

Az 1849. évi nemzetiségi törvény és a zsidó-emancipáció

A szabadságharc végnapjaiban született az országgyűlés szegedi határozataként az első magyar nemzetiségi törvény.

A Függelenségi Nyilatkozat után a kormány tervbe vette egy egységes alkotmány kidolgozását, amelyben a nemzetiségek jogait is szabályozzák. A szorító hadihelyzetben külön is sürgőssé vált mind a külső szövetségesek keresése, mind pedig a nemzetiségek megbékítésének kísérlete.

Sajátos módon tavasztól a lélektani pillanat nem volt kedvezőtlen a békejobb kinyújtásához. A bukaresti bukott forradalom emigránsai már 1848 végétől különböző föderációk, szövetségek kialakításán töprengtek, később a Bem által felszabadított Erdélyben magyarbarát román lapot (*Espatriatul*) adtak ki. A háttérből biztatta őket a nagy befolyású nyugati lengyel emigráció is. Májusban Teleki László – aki már szakított a nemzetállami egység elvével – széles körű autonómiát s egy dunai konföderációt ajánlott Párizsból, s engedményeket sürgett Belgrádból a hidegfejű Andrássy Gyula is. A tavasz során sikerült a szerb felkelést is nagyjából felszámolni, a havasokba szorultak Iancu népfölkelői – így a

magyar forradalmi tábor a nemzetiségek felé nem „vert helyzetben” nyújthatta ki kezét. (Az olmützi újabb oktrojált osztrák alkotmány, noha fenntartotta a nemzeti egyenjogúság elvét, sokkal kevesebbet nyújtott a nemzetiségeknek, mint amit reméltek. Nem fordultak szembe Béccsel, de ismét figyelni kezdtek – kényszerűségből is – a magyar kormányra.) Ioan Dragoș bihari román országgyűlési képviselő tragikusan végződő április–májusi érchegyesi békeközvetítő kísérlete nem vágta el, legfeljebb mérsékelte a megbékélési vágyakat. A kormány június elején már közvetlen feladatnak tekinti a nemzetiségek kibékítését, s megkezdődnek a tárgyalások Pesten a havasalföldi román emigráció vezetőivel.

A havasalföldi emigránsokkal kötött 1849. július 14-i szegedi magyar–román egyezmény, a *Projet de pacification* a román túlsúlyú megyékben garantálta az anyanyelv használatát, akárcsak a nemzetőrségben, minden iskolában, bíróságon; s a legfontosabb az, hogy elismeri: a románok „külön nemzetiséget képeznek”. Egyik egyházuk, a görögkeleti, teljesen függetlenné, patriarchátussá válik. Ezek a pontozatok együtt – kimondatlanul – a területi autonómia alapját jelentették. Hogy már nemcsak a románoknak szóló kivételről van szó, azt kimondja a megállapodásban az utalás „a Magyarhon kiegészítő részét képező népiségekre”. Történelmi fordulat ez, valójában a monolit nemzetállamiság eszméjének feladása.

A *Projet de pacification*nak a többi nemzetiségre való kiterjesztéséből, elsősorban Szemere miniszterelnök munkájával született az 1849. évi VIII. törvénynek tekinthető, azonban formailag országgyűlési határozatként hozott július 28-i szegedi döntés. A 17 pontból álló, irányelveknek, útmutatásnak szánt szabály „minden népiségek nemzeti szabad fejlődésének” biztosítására egyrészt a hivatali nyelvhasználatot szabályozta, másrészt az egyházi, iskolai ügyekre tért ki.

A nemzetiségi többségű megyékben a belső adminisztrációt is átengedte a helyi fő nyelvnek, s ott is, ahol a nem magyarok csak kisebbséget alkottak, minden hivatalos gyűlésen szólhattak anyanyelvükön. A helyi nemzetőrség nyelve szabadon választható, az oktatás nyelvét „mindig a községi vagy illetőleg az egyházi nyelv fog használtatni”. Anyanyelvén mindenki fordulhat a hivatalos fórumokhoz. Az egyházak teljes szervezeti ügyintézési és nyelvi szabadsága mellett a „görög szertartásúak számára” a budapesti egyetemen hittudományi kar létesítését tervezték. A kormány felhatalmazást kapott, hogy a nemzetiségek további kívánásaival foglalkozzék, sérelmeiket rendeleti vagy törvényi úton orvosolja. Az utolsó pont amnesztiát biztosít mindazoknak, akik „fegyvereiket letévén, megtérnek és a függetlenségi esküt leteszik”.

Máig vitatott e határozat (törvény) jelentősége, de még őszintesége is, hiszen végül is csak a szabadságharc bukásának előestéjén született. Parlamenti vitája azonban azt jelzi, hogy megalkotói komolyan vették. Július 21-i beszédében Szemere fontosnak mondja „az ármányosan fellázított népfajok” lecsendesítését, s külön kiemeli az ő szenvedéseiket is, ecseteli a kormány pozitív törekvéseit, az eddig megtett utat, de hivatkozik a jövő előtti felelősségre is. A zárt üléseken érdemi vita folyt az amnesztiáról, sőt arról, hogy egyáltalán szavazásra bocsásák-e az egész javaslatot; föllevenítették a májusi Dragoș-tragédiát, talán mert az is ellenérv lehetett az engedményeket bírálók számára.

A nyilvános ülésen Szemere nagy beszédében hangsúlyozta, mennyire fontos feladat a szabadság mellett az időben újabb eszme: a nemzetiség biztosítása. Minden kormánytag a javaslat mellett szólt. A Ház többséggel fogadta el a határozatot.

Ez a határozat volt az a maximum, ameddig a szorongatottság kényszere és az önvizsgálat következményeként a szabadságharc politikai vezérkara önmaga feladása nélkül eljutott. Jelentőségét növeli, hogy hiányoznak belőle a politikai képmutatás elemei, s összeurópai vonatkozásban is példamutató alkotás. Megvalósítására már nem volt idő, de azért hivatalosan is közismertté vált. Szemere később azt írta: „az elvet kimondani mindig idején van, ... bár a zsarnok szövetség győzött, a nyilatkozat most engesztelőleg ott zeng a kiábrándult népek lelkében”. Részleteit megtaláljuk majd az 1868. évi Eötvös–Deák-féle nemzeti törvényben, alapelvei tovább élnek az emigráció eszmevilágában.

A zsidók egyenjogúsításáról rövid, mindössze négy paragrafusból álló törvény született július 28-án. A képviselők vita nélkül fogadták el, noha megalkotását 1848–1849-ben s korábról nem kevés vita előzte meg.

A reformellenzék a fokozatos jogkiterjesztés szellemében már az 1839–1840. évi országgyűlésen a birtokvásárlási jog és az iparúzés szabadságának biztosítását javasolta, azonban a kormányzati ellenállás, a városokban fellelhető zsidóellenes hangulat – a még széles körben élő előítéletek ereje miatt – akkor csak a szabad lakhatást – a régi bányavárosokat leszámítva –, valamint a szabad iparúzést, gyáralapítást engedélyezték (1840:XXIX. tc.). Teleki László az erdélyi országgyűlésen ajánlotta a zsidó-emancipációt – hiába. 1848 tavaszán többfelé, így márciusban Pozsonyban is voltak zsidóellenes zavargások, s ezek nehéz helyzetet teremtettek a liberálisok számára. Akkor csak egy torz, nem liberális javaslatot lehetett volna elfogadtatni. Kossuth maga is taktikázásra kényszerült: 1848. április elején a vallások egyenjogúsítása kapcsán a zsidók vonatkozásában a várakozást ajánlja, amíg a kedélyek lecsillapodnak.

A népképviselői országgyűlés első napjaiban, július 12-én Kállay Ödön képviselő betervezte egy teljes emancipációt, polgári és vallási egyenjogúságot ígérő javaslatot, melyet aztán az osztályok is támogattak. Kitűnt azonban, hogy a bizottsági többségben az óvatosság erősebb a reformvágynál, előbb egy bevándorlási törvényt kívántak, s ugyancsak előbb tárgyalásokat igényeltek a zsidók „káros elzárkózottságának”, a kölcsönös idegenkedés okainak „korszerű reform általi elhárítása végett”. Ezzel viszont „a szabadság s egyenlőség eszméinek megfelelő, ... a társadalmi és nemzeti egybeforrás igényeit is kielégítő” emancipációt hosszú időre, de legalábbis egy következő országgyűlésre elnapolták.

1849. május 12-én Tóth Lőrinc komáromi képviselő – igazságügy-minisztériumi titkár – javasolta újból az emancipációt, másnap Vukovics Sebő miniszter tett javaslatot minden vallási különbség megszüntetésére. Azonban elsősorban Szemere Bertalan az, aki a törvényt megfogalmazza. A nyugati felvilágosult megoldásmódokat – az áprilisi osztrák alkotmányt is – és a hazai népi előítéleteket egyaránt mérlegelve, Szemere is ingadozott. Vajon a további betelepülést nem kellene-e minisztériumi engedélyhez kötni? (A merevebb vármegyére bízni szín-

te egyet jelentett volna a bevándorlási tilalommal.) Nem kéne-e megkövetelni, hogy a zsidók reformálják meg egyházszerkezetüket?

A törvényjavaslat indoklása a képviselők meggyőzésének érdekében sem hallgatta el a problémákat, sőt a szövegen még az a kétség is érződik, vajon csupán vallásfelekezetről vagy netán nemzetiségről van-e szó a zsidók esetében. (A kérdés önmagában véve nem volt egyszerű, hiszen az ókortól élő etnikai vallásról volt szó, s 1848 előtt még nem dőlt el egyértelműen, hogy a magyar társadalomban etnikumként vagy felekezetként kapnak-e helyet.) A liberális alapállás ezen túl azonban világos, a törvény pedig egyértelmű: „a magyar álladalom határain belül született, vagy törvényesen megtelepedett mózes vallású lakos, mindazon politikai s polgári jogokkal bír, melyekkel annak bármely hitű lakosai bírnak”. Kimondta a keresztények és zsidók közötti házasság érvényességét, e célból a polgári házasság bevezetését. Ehhez képest másodlagos jelentőségű, hogy ígéret történik a bevándorlás szabályozására vagy arra, hogy a kormány közreműködésével „a mózes vallásúak a kézi mesterségek és a földművelés gyakorlására vezéreltessenek”. Fontosabb az, hogy a zsidók „papjaiból és népválasztottjaiból” álló konferenciának feladata lesz a vallási, egyházszervezeti reformok kidolgozása és végrehajtása.

Ez a törvény sem volt tökéletes alkotás, nem mondta ki az izraelita vallás bevett felekezeti jellegét, de ez is egy fordulatot jelzett a forradalom és a szabadságharc megpróbáltatásait átélő társadalom elitjének gondolkodásában. Reformkori adósságot törlesztett, s az utókornak mutatott irányt. Valójában abba a reformkorban kialakított jogkiterjesztő és asszimiláló nemzeti-liberális politikai célkitűzésrendszerbe illeszkedett, amelyet az 1848–1849. évi polgárháború, a nagy nemzetiségek (szlovákok, románok, szerbek) önállósodása ugyan nem engedett realizálódni, de a kisebb etnikumok esetében, a svábok, zsidók vagy a szórványban élő szlovákok, románok körében a magyarsággal való politikai-érzelmi azonosulás, egyfajta homogenizáció a liberálisok által várt módon megindult, végbement. A törvény indoklása le is szögezi: „alig van népfaj, mely a zsidókat hűségben és munkásságban nemzeti háborúnk körül felülhaladná; a jogegyenlőség kimondása újjászületésünknek egyik szükséges következménye, s midőn azt a mózes vallásúakra alkalmazzuk, az emberi s polgári kötelesség egyszerű teljesítésén túl, a hazafiúi érdemet jutalmazzuk meg”.

Az országgyűlés két utolsó törvénye a liberális magyar kisebbségpolitika két tengelyét határozta meg, hagyta örökül. Az egyik az érdekek különbözősége alapján az önállósodás útját választók elfogadása, legalábbis a velük való új modus vivendi keresése, a másik a nemzethez közeledők, a hozzáigazodást vállalók befogadása. Két különböző, de mégis összetartozó nemzetiségpolitika.

Az országgyűlés e két rendelkezése nem valósult meg. Éppen csak hogy kihirdették, éppen csak arra maradt idő, hogy országszerte köztudottá váljék. Jelentőségük nem csak eszmetörténeti. Formálták a jövőt.

HERMANN RÓBERT

Eredmények és feladatok 1848–1849. hadtörténetének kutatásában

A forradalom és szabadságharc 125. évfordulóján 1973. december 13–14-én a Magyar Tudományos Akadémia II. Osztálya, a Magyar Tudományos Akadémia Történettudományi Intézete, valamint a Magyar Történelmi Társulat kétnapos tudományos ülésszakot rendezett. Az ülésszakon előadások hangzottak el a magyarországi polgári átalakulás megalapozásáról, a forradalom helyéről Magyarország gazdasági fejlődésében, a forradalom és parasztság, a forradalom és a nemzetiségek viszonyáról, valamint a magyar forradalom nemzetközi helyzetéről. A hozzászólásokban az európai „szociális kérdések” magyarországi sajtóvisszhangjáról, a választójogról, az erdélyi százszok magatartásáról esett szó. Egyetlen olyan téma volt, amely csak mellékesen, szinte csak az úgynevezett Görgei-kérdés kapcsán került szóba: a szabadságharc katonai története.

Az előzmények ismeretében ez nem egészen érthetetlen. A múlt és e századi összefoglalások többsége 1945-ig a szabadságharc katonai történetére koncentrált: Szilágyi Sándor frissen összebarkácsolt kötetei után az első összefoglaló igényű (igaz, félbemaradt) munkát két katona, Klapka György és Csetz János írta 1851-ben. Maguk a győztesek is a katonai szempontból dolgozták fel az eseményeket. Haynau már 1850-ben megírta az 1849. nyári, Windisch-Grätz pedig 1851-ben a téli hadjárat történetét. (A tavaszi hadjárat a története afféle sajnálatos függeléként ez utóbbi végén szerepelt.) Az oroszok nemcsak saját nyelvükön, hanem német és francia nyelven is közreadták 1849. nyári szereplésük történetét. A megjelent emlékiratok többsége is a szabadságharc katonáitól származott, s Irányi Dániel és Horváth Mihály politikatörténeti munkáinál gyakran nagyobb szerepet játszottak a nagyközönség tájékozódásában Wilhelm Rüstow, Gelich Rikárd és Breit József hadtörténeti összefoglalói.

Az 1945, de főleg az 1948 utáni történetírás, érthető módon, vissza akarta állítani a politikatörténet becsületét, s új és kétségkívül fontos szempontként a gazdasági és társadalmi vonatkozások kutatása is komoly hangsúlyt kapott. Az 1848–49-es forradalom és szabadságharc története fontos szerepet játszott az 1948 után kiépülő rendszer történeti legitimációjában, s ahogyan az 1948-as tisz-

tíkar is a „néphez hű” és „népellenes” káderekre oszlott, ugyanúgy visszamenőleg a szabadságharc katonáit is forradalmárookra és a megalkuvókra, sőt, potenciális avagy objektív árulókra osztották fel. A politika primátusát rosszul értelmezve aztán az a sajátos helyzet állt elő, hogy a reprezentatív s a korszak kronologizálását filozófiai fontosságúnak tekintő összefoglalókban a szabadságharc hanyatlásának és bukásának kezdete a dicsőséges tavaszi hadjárat lett. Márpedig tudomásul kell vennünk, hogy 1848 szeptembere után a magyar forradalom és szabadságharc sorsa – éppen a szabadságharc természetéből következően – nem a parlamenti padsorokban, hanem a csatatereken és a diplomáciában dőlt el. Magyarország diplomáciailag elszigetelt állása miatt pedig az 1848. áprilisi vívmányok csak a csatatereken kivívott sikerek révén voltak biztosíthatóak.

Az 1848–49-es hadtörténetírásban 1973-ban következett be historiográfiai jelentőségű fordulat. Ebben az évben jelent meg ugyanis Urbán Aladár 1965-ben megvédett kandidátusi értekezése (*A nemzetőrség és honvédség szervezése 1848 nyarán*). A munka szűkebb hadtörténeti szempontból azért volt fontos, mert tisztázta a nemzetőrség megszervezésének különböző szakaszait, az egyes nemzetőrségi kategóriák közötti különbségeket, illetve bemutatta azt a folyamatot, ahogyan a Batthyány-kormány az 1848:XXII. törvénycikk felhasználásával megteremtette a magyar állam önálló, reguláris fegyveres erejének magvát, az első tíz honvédszászlóaljat. Ezzel pedig olyan rendet teremtett a magyar hadsereg-szervezés addigi történeti irodalmában, amely biztos kiindulópontot jelenthetett a szervezés-történet további, mind helyi szintű, mind országos feldolgozásához. Urbán kötetét több évtizedes kutatómunka előzte meg – ennek eredményeképp olyan kézikönyv keletkezett, amelynek, az eddigi kutatások során, egyetlen alapvető megállapítását sem kellett módosítani. Az a paradox helyzet állt elő, hogy mivel Urbán a nemzetőrség és honvédség szervezéstörténetének megírásakor csak csekély és meglehetősen ellentmondásos helytörténeti irodalomra támaszkodhatott, az összegző igényű munka szolgált a továbbiakban a hiányzó helytörténeti kutatások kiindulópontjául. A munkának azonban volt egy általánosabb, köztörténeti jelentősége is. Bebizonyította ugyanis, hogy a Batthyány-kormány – az 1948 utáni történetírás által sugallt állásponttal szemben – nem megalkuvó politikusok gyülekezete volt (kivéve a mindent tisztán látó Kossuthot), hanem olyan kormány, amely már 1848 tavaszán felismerte a polgári átalakulás vívmányait fenyegető veszélyeket, s a törvényadta lehetőségeket felhasználva, megteremtette az önvédelmi harc feltételeit. Ez a megállapítás pedig a Batthyány-kormány, illetve maga a miniszterelnök, Batthyány Lajos tevékenységének gyökeres újraértékeléséhez vezetett a politikatörténeti irodalomban is.

A következő fordulópontnak 1979-et tekinthetjük. Ebben az évben látott először napvilágot Katona Tamás kétkötetes forrásgyűjteménye, *Az aradi vértanúk*. A közzétett anyag egy része addig sem volt teljesen ismeretlen, de vagy ekkorra már szinte hozzáférhetetlen kiadványokban, vagy/és megbízhatatlan szöveggözlésekben lehetett csak olvasni őket. A vértanúk teljes peranyagának, börtönből írott leveleinek, naplóinak és emlékiratainak, illetve a kiegészítő forrásoknak a közzététele ráirányította a figyelmet arra, hogy voltaképpen milyen keveset is

tudunk az aradi vértanúkról s általában a szabadságharc katonáiról. A kötet előszava pedig olyan történeti kérdésekben foglalt állást, mint a komáromi vagy szegedi összpontosítás vitája, illetve az oroszok vagy az osztrákok előtti fegyverletétel. Ez utóbbi esetében Katona Tamás meggyőzően bizonyította, hogy – szöges ellentétben Andics Erzsébet állításával – 1849 augusztusában a Haynau előtti fegyverletétel véresebb megtorláshoz vezetett volna, mint az oroszok előtti kapituláció.

A kötet megjelenése egyben egy hosszabb sorozat kezdetét jelezte. Katona Tamás az elkövetkező tíz évben saját sajtó alá rendezésében vagy az általa szerkesztett, *Bibliotheca Historica* című sorozatban további nyolc, 1848–1849-re vonatkozó kötetet tett közzé. Modern és megbízható kiadásban került a nagyközönség elé Klapka György, Görgei Artúr és Vukovics Sebő emlékirata, Paskevics magyarországi hadjáratának orosz összefoglalója, a magyarországi orosz intervencióra vonatkozó 12 emlékirat, az ozorai diadalra és Buda visszavételére vonatkozó irat, illetve visszaemlékezés-anyag, John Andrew Blackwell angol ügynök 1846–1848. évi magyarországi jelentéseinek gyűjteménye. Szintén ő tette közé először Kossuth 1849. szeptember 12-i vidini levelének hiteles szövegét. (Görgey István: 1848 júniusától novemberéig. – *Okmánytár.* /1848. szeptember 23.–1848. október 16./ Bp., 1980.; Vukovics Sebő visszaemlékezései 1849-re. Bp., 1982.; Alekszandr Petrovics Scsersbatov: *Paszkevics Magyarországon.* Bp., 1984.; Klapka György: *Emlékeimből.* Bp., 1986.; Kossuth Lajos: *Írások és beszédek 1848–1849-ből.* Bp., 1987.; *A magyarországi hadjárat 1849. Orosz szemtanúk a magyar szabadságharcról.* Vál., bev. Rosonczy Ildikó; szerk. Katona Tamás. Bp., 1988.; Görgey Artúr: *Életem és működésem Magyarországon 1848-ban és 1849-ben.* I–II. Bp., 1988.; *Budavár bevételének emlékezete 1849.* Szerk. Katona Tamás. Bp., 1989.; *Joseph Andrew Blackwell magyarországi küldetései 1843–1851.* Sajtó alá rend., utószó: Haraszti-Taylor Éva; szerk., jegyz. Urbán Aladár. Bp., 1989.)

Ezeknek a köteteknek nemcsak az volt az erényük, hogy addig publikálatlan vagy nehezen hozzáférhető visszaemlékezések és iratok kerültek a szakmai és a nagyközönség kezébe, hanem jegyzetanyagukban és bevezetőikben Katona Tamás több, addig vitatott kérdést tisztázott megnyugtató módon. Így Klapka és Görgei emlékiratainak kiadásában bebizonyította, hogy Görgei – ellentétben a korábban uralkodó felfogással – 1849. június 30-án nem mondta fel az engedelmességet a kormánynak. „Csupán” az történt, hogy a szegedi összpontosítási határozatot tudató Kossuth-levéllé kézhezvétele előtt írott s a komáromi összpontosítás szellemében nyilatkozó június 30-i, 939. iktatószámú levele később került Kossuth kezébe, mint a szintén június 30-án írott 940. iktatószámú, a szegedi összpontosítási határozatnak történő engedelmeskedést tudató levél. Kossuth nem vizsgálta meg a levelek iktatószámát, hanem az elsőként írott, de másodikként kapott levélben foglaltakat a másodikként írott, de elsőként kapott levélben foglaltak visszavonásának tekintette, s leváltotta Görgeit a fővezérségről. Katona e kötetekben tisztázta azt is, hogy 1849. április végén a magyar főserég Bécs elleni támadásának már csak a létszámviszonyok miatt sem voltak meg a feltételei, hiszen a cs. kir. főserég Bécs előtt több mint kétszeres létszám- és tüzérségi fölény-

ben volt. (A budai ostrom indokoltságát megkérdőjelező történészek ezzel az érveléssel azóta is képtelenek szembenézni.)

Az 1848-as hadtörténeti kutatások újabb mérföldkövének 1983 tekinthető. Ebben az évben jelent meg Bona Gábor kötete, amely nemcsak teljességre törekvő adattárat adott a szabadságharc felső katonai vezetéséről, hanem egyben igen alapos bevezető tanulmányban mutatta be ennek az elitnek a kialakulását, a szabadságharc egyes szakaszaiban játszott szerepét, valamint az elit szociológiai összetételét. (*Tábornokok és törzstisztek a szabadságharcban*; 2., átdolg., bőv. kiad. Bp., 1987.) Bona kötet hatásonként cáfolja mind a honvédsereg tisztikarát a katonai ellenforradalom bázisaként bemutató, mind azt az újabban felvetődött (Nemeskürty István által képviselt) nézetet, mintha a tisztikar tömegeit a hivatásos katona-forradalmárok alkották volna. 1988-ban megjelent a szabadságharc hadseregének századosi karát bemutató kötet, a 150. évfordulóra pedig megjelent a főhadnagyi és hadnagyi kategória tagjait bemutató három kötet közül az első (*Kossuth Lajos kapitányai; Hadnagysok és főhadnagysok az 1848/49. évi szabadságharcban*). Historiográfiai jelentőségű Bona azon összefoglalója is, amelyet a *Magyarország hadtörténete* I. kötetében (Szerk. Borus József. Bp., 1984.; 2., jav. kiad. Bp., 1985.) írt 1848–49-ről. Egyrészt azért, mert a szabadságharcról az utolsó részletes hadtörténeti összefoglaló 1930-ban jelent meg (az is egy múlt század végi összefoglaló munka némileg átdolgozott változata volt); másrészt azért, mert Bona szakított a szabadságharc történetét a belpolitikai események alapján kronologizáló szemlélettel, s visszatért a hadtörténeti periodizációhoz. Mindez azért is fontos volt, mert pl. a tízkötetes *Magyarország története* vonatkozó kötetében (Főszerk. Kovács Endre. Bp., 1979.; 2., jav. kiad. Bp., 1987.) a szabadságharc hanyatlása és bukása a dicsőséges tavaszi hadjáratral kezdődik. A korábbi évtizedek Bemet egyoldalúan istenítő, Görgeitől pedig még a katonai tehetséget is megtagadó szemléletével szemben Bona mindkét hadvezér ténykedésének kiegyenlített értékelését adta, lehetővé téve egy nem kritikátlan és a tényekre támaszkodó Görgei-értékelés megfogalmazását.

Az 1994. évi Kossuth-évfordulón a legfontosabb munka Kosáry Domokosnak a *Görgey-kérdés*ről írott kétkötetes munkája volt, amely gyakorlatilag egyfajta összefoglalót ad a szabadságharc hadtörténeti historiográfiájáról is. Kosáry monográfiája azért is fontos, mert lényegében megírta a Görgei-életrajznak – a korábbi életrajzi munkákból hiányzó – 1867–1916 közötti fejezeteit is.

A nyolcvanas évek végén, a kilencvenes évek elején lépett színre az az új hadtörténész-generáció, amely az Urbán Aladár, Katona Tamás és Bona Gábor munkái által kijelölt irányban kezdte meg a szabadságharc hadtörténetének feldolgozását. A kutatók többsége (Hajagos József, Kedves Gyula, Pelyach István, Zakar Péter és jelen sorok írója) Katona és Urbán tanítványa volt, de idetartozik Molnár András, a Zala Megyei Levéltár munkatársa, a katonai felsőoktatásból érkezett Csikány Tamás és a Zsámbéki Katolikus Főiskolán tanító ifj. Rabár Ferenc is. Az elmúlt évek során ennek a nemzedéknek kialakultak az állandó fórumai, pl. a minden év április végén Komáromban, illetve októberben Gyöngyösön rendezett konferenciák. Az előbbieket Komárom történetének ürügyén Klapka 1848–1849-es pályájáról, a katonai elit tagjairól, a kormánybiztosokról, az emigrá-

cióról, a szabadságharc műszaki szolgálatáról, az erődharcazat kérdéseiről szölk. Az utóbbiak a megtorlás témaköre ürügén az egyes vértanúk pályáját, illetve Heves megye 1848–1849. évi történetét tárgyalták. Idesorolható még a Hatvanban 1996-ban rendezett konferencia a tavaszi hadjárat történetéről, illetve a Cibakházán 1997-ben rendezett konferencia a Tiszántúl védelmének kérdéseiről. E nemzedék munkásságát a *Hadtörténelmi Közlemények*, az AETAS és a *Fons* 1848–1849-es tanulmányain kívül immár négy tanulmánykötet jelzi (*Komárom és Klapka György 1848/49-ben*. Szerk. Kiss Vendel. Komárom, 1994.; *A tavaszi hadjárat*. Az 1996. március 14-i tudományos konferencia anyaga. Szerk. Horváth László. Hatvan, 1996.; *Az 1848–49-es forradalom és szabadságharc utóélete* című tudományos ülésszak. Vaja, 1996.; Egy küzdelmes év katonái. In: *Mátrai Tanulmányok*. Szerk. Horváth László. Írták Csikány Tamás, Hajagos József, Hermann Róbert, Zakar Péter. Gyöngyös, 1998.), de közös munkának tekinthető az *Életünk* huszár-, illetve a 150. évfordulóra megjelenő vár- és erődszáma (1994/10–11., 1998. különszám).

Urbán Aladár és Bona Gábor mellett többnyire e nemzedék tagjai írták a szabadságharc történetét bemutató népszerű összefoglaló, illetve az évfordulóra megjelent hadtörténeti összefoglaló fejezeteit is. (1848–1849. *A szabadságharc és forradalom története*. Szerk., az előszót és a kronológiát írta: Hermann Róbert. Írták: Bona Gábor, Csikány Tamás, Dobszay Tamás, Estók János, Fónagy Zoltán, Hermann Róbert, Kedves Gyula, Pelyach István, Urbán Aladár, Zakar Péter. Bp., 1996.; *A szabadságharc katonai története*. Szerk. Bona Gábor. Írták: Bencze László, Bona Gábor, Csikány Tamás, Hermann Róbert és Kedves Gyula. Bp., 1998.)

Méltánytalan és igazságtalan lenne azonban, ha elfeledkeznénk az előttünk járó nemzedék többi tagjának érdemeiről. Annál is inkább, mert a további kutatások irányát csak úgy jelölhetjük ki, ha számot vetünk a már megszületett eredményekkel. A továbbiakban ezért a hadtörténetírás egyes részterületeinek eredményeit próbáljuk meg röviden összefoglalni.

Komoly kutatásokon alapszik s főleg egyenruha-történeti szempontból nehezen meghaladható Barcy Zoltán és Somogyi Győző *hadserégtörténeti* összefoglalója (*A szabadságharc hadserege*. Bp., 1987.), bár egyáltalán nem teszi fölöslegessé egy tényleges hadserégtörténet elkészítését. A *fegyvernemek* közül korszerű összefoglalóval rendelkezünk a lovasságról (Kedves Gyula: *A szabadságharc hadserege. I. A lovasság*. Bp., 1992.; 2. kiadás, Bp., 1998.) és a tüzérségről. Ez utóbbit Csikány Tamás készítette el mindmáig kiadóra váró kandidátusi értekezésében, amelynek egyes részletei azóta már megjelentek. Hiányzik viszont a harmadik fő fegyvernem, a gyalogság történetének, fegyverzetének, harcászati eljárásainak feldolgozása. A *csapatnemek* közül Kedves Gyula már említett kötetével megírta a huszárság történetét (merthogy a szabadságharc lovasságának 90%-a ebből a csapatnemből került ki). A gyalogság csapatnemei közül szinte mindegyik története feldolgozásra vár, a tüzérségnél pedig fontos lenne például a *röppentyűútegek* ténykedésének feltárása. Hasonlóképpen hiányzik a műszaki alakulatok történetének feldolgozása is.

Sokkal jobban állunk a vegyes összetételű *külföldi légiók* történetével. A német légió ténykedését Bóhm Jakab írta meg (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1970/2.), a len-

gyel légió történetét Włodzimierz Mus (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1978/3.) után a magyar, a lengyel és az osztrák levéltári anyag hasznosításával Kovács István készítette el. (*A légió*. Bp., 1989.; *Mindvégig veletek voltunk*. Bp., 1998.) Az olasz légió történetéről Berkó István 1926. évi tanulmánya, illetve 1929. évi kötete után jelen sorok írója írt az újabban előkerült levéltári anyag alapján egy tanulmányt. (In: *Nemzeti és társadalmi átalakulás a XIX. században Magyarországon. Tanulmányok Szabad György 70. születésnapjára*. Szerk. Orosz István, Pölöskei Ferenc, Dobszay Tamás. Bp., 1994.) Valamennyi légió történetét feldolgozta Katrin Sitzler, szintén magyar kiadásra váró munkájában (*Solidarität und Söldnertum. Die ausländischen Freiwilligenverbände im ungarischen Unabhängigkeitskrieg 1848–1849*. Osnabrück, 1980.).

Az alakulattörténetek közül Urbán Aladár említett munkájában és ehhez kapcsolódó résztanulmányaiban megírta az első tíz honvéddzászlóalj szervezőtörténetét. [Honvédtoborzás Pest–Budán 1848-ban. *Tanulmányok Budapest múltjából*, 15(1963); A győri 5. honvéddzászlóalj toborzása 1848-ban. *Arrabona*, 11(1969)]. Petőfi honvéd századosi ténykedése alapján lényegében felvázolta a 28. zászlóalj szervezőtörténetét is. (Petőfi Sándor honvédszázados. *Hadtörténelmi Közlemények*, 1972/4.). Teljes történeti összefoglalóval csupán a három (7., 47., 56.) zalai zászlóaljról, a 48. szabolcsi zászlóaljról rendelkezünk, s van egy szervezőtörténeti összefoglalónk a hevesi 26. zászlóaljról. (A szabadságharc zalai hovádei 1848–1849. Szerk. Molnár András. Zalaegerszeg, 1992.; Hajagos József: A Heves vármegyei 26. honvéddzászlóalj története 1848–1849-ben. In: *A tavaszi hadjárat*. i. m.; Kedves Gyula: A 48. honvéddzászlóalj története az 1848–49-es szabadságharcban, alakításától Budavár bevételéig. *Hadtörténelmi Közlemények*, 1990/2.; Uő.: A 48. honvéddzászlóalj története az 1848–49-es szabadságharcban, Budavár visszavételétől a feloszlásáig. Uo. 1993/4.) Rövid összefoglalónk van a nógrádi alakulatokról (Bona Gábor: Nógrád megyei 1848-as honvédek nyomában. A Nógrád Megyei Múzeumok Évkönyve, 11[(1985)]; a szabolcsi 10., 43. és 139. zászlóaljakról (Kedves Gyula: Szabolcsi honvédek a szabadságharcban. *Szabolcs-Szatmár-Bereg Szemle*, 1998/2.), de készülöben van egy, a szabolcsi alakulatokat általában bemutató kötet is. A nemzetőrségek közül megjelent Zalaegerszeg és Székesfehérvár nemzetőrségének története (Magony Imre: *Székesfehérvár nemzetőrei 1848-ban*. Székesfehérvár, 1998.; Molnár András: Zalaegerszeg nemzetőrei 1848-ban. In: *Hadtörténelmi tanulmányok*. Szerk. Molnár András. Zalaegerszeg, 1995.), s a már említett kötetben készül Szabolcs megyéé is. Az egyes szabadcsapatok közül Urbán Aladár megírta a Hunyadi- és Zrínyi-szabadcsapat szervezőtörténetét (Kossuth szabadcsapata 1848 őszén. *Hadtörténelmi Közlemények*, 1988/4.; Perczel Mór és a Zrínyi szabadcsapat. Uo. 1991/1.), jelen sorok írója pedig a Hatvani-szabadcsapat ténykedését dolgozta fel (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1992/1., 1993/4., AETAS, 1992/1–2).

Szinte egyáltalán nem rendelkezünk lovassági és tüzérségi alakulattörténetekkel. Egyedüli kivételként Somogyi Győző rövid esszéje említhető az 5. (Radetzky) huszárezredről. (*Életünk*, 1994/10–11.) Ezek megírását az is nehezíti, hogy a szabadságharc egyes lovasezredeinek jelentős részét több hadszíntéren is alkalmazták, tehát pl. az 5., 6., 7., 8. huszárezred története gyakorlatilag a teljes

hadtörténeti forrásanyag átvizsgálásával írható csak meg. A tüzérségnél a párhuzamos számozás, illetve az átszámozások okoznak problémát.

Teljes egészében hiányoznak a *hadtest-* és *hadsereg*történetek. A legjobb alapokkal az V. (aradi és temesvári ostromsereg), a VI. (erdélyi hadsereg) és a VII. (feldunai) hadtestek esetében rendelkezünk. Előbbinél Csikány Tamás feldolgozta Temesvár ostromának történetét (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1996/1.), utóbbi kétónél a Bem- és Görgei-irodalomnak köszönhetően legalább a kronológiai vázzal rendelkezünk. Némi erőszakkal idesorolható az 1849 nyarán hadtestté fejlődő 15. Kmety-hadosztály is, amelynek dunántúli hadjáratáról négy önálló tanulmánnyal is rendelkezünk. Pedig a levéltári adottságok meglehetősen kedvezőek az I., II., III., VIII. és IX. hadtestek esetében is. Az I. hadtestnek csaknem a teljes levéltári anyaga fennmaradt, a IX. hadtest anyagának jelentős részét a Magyar Országos Levéltár Dembiński- és Wysocki-iratai tartalmazzák (R 23, R 221).

Az életrajzi irodalom terén komoly gazdagodást hozott a *Magyar Honvédség* nevét állandóan változtató *Módszertani*, majd *Oktatási*, *Kulturális és Anyagellátó Központjának Várkapitányok*, *Hadvezérek*, *Generálisok* című, ISBN-szám nélküli füzet-sorozata, amelyben megjelent Czetz János (Petri Edit, Bp., 1991.), Leiningen-Westerburg Károly (Bencze László), Klapka György (Hermann Róbert), Mészáros Lázár (Ács Tibor, Bp., 1995.), Psotta Móric (Csikány Tamás) életrajza, s készülöben van egy Vetter Antal-életrajz is (Csikány Tamás). Az egyéb életrajzi munkák közül említést érdemel Kedves Gyula igen színvonalas Czetz-életrajza (*Czetz János, a szabadságharc legifjabb tábornoka*. Bp., 1996.), Szarka Lajos Gaál Miklósról készített biográfiája (*A tábornok bére*. Keszthely, 1997.), s jelen sorok írója némi szerénységgel idesorolja saját Poeltenberg-életrajzát is (*Mindig az elsők között. Poeltenberg Ernő honvédtábornok élete*. Bp., 1997.). Teljes életrajz helyett csupán 1848–1849-es pályaképet ad Pusztaszeri László monográfiája (*Görgey Artúr a szabadságharcban*. Bp., 1984.). Hajagos József írta meg Török Ignác és Dessewffy Arisztid életrajzát (Horváth László szerk.: *Egy küzdelmes év katonái. Mátrai Tanulmányok*, Gyöngyös, 1998.). Pásztor Emil (*A tizenötödik aradi vértanú*. Bp., 1979.) és Pribelszky János (Kazinczy Lajos a szabadságharcban. *Hadtörténelmi Közlemények*, 1992/2.) Kazinczy Lajos honvéd ezredes, Merényi-Metzger Gábor Lenkey János pályáját dolgozta fel (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1994/3.).

A *hadműveletek és összecsapások* feldolgozása területén feltétlenül kiemelendő Bona Gábor szerkesztésében a 150. évfordulóra megjelent, a szabadságharc katonai történetét összefoglaló kötet, amely a legújabb kutatási eredményeket összegzi. Az eseménytörténeti rész tanulmányok közül fontosak Rabár Ferenc Lipótvár és Eszék, illetve Csikány Tamás Temesvár ostromáról írott tanulmányai (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1988/2., 1995/3., 1996/1., 1998/1.). Csikány új, katonai szakmai eredményeket hozott, amikor a korabeli ostromszabályok figyelembevételével készítette el elemzését. A csataleírások közül kiemelkedő Kedves Gyula feldolgozása az 1849. augusztus 3-i komáromi kitörés, illetve Csikány Tamásé az 1849. április 2-i hatvani ütközet történetéről (a fentebb említett komáromi, illetve hatvani kötetben). Komplex hadtörténeti elemzésre törekedett jelen sorok írója Perczel Mór 1848. őszi zalai hadműveleteiről írott munkájában

(Perczel Mór *első honmentő hadjárata*. Zalaegerszeg, 1995.). A magyarországi és bécsi levéltári anyag áttekintése viszont azt bizonyítja, hogy szinte nincs olyan eseménye és eseménysora 1848–1849 szűkebb értelemben vett katonai krónikájának, amelyről ne lehetne újat, többet és mást mondani, mint korábban. Talán csak Gyalóky Jenő két világháború között írott, az erdélyi hadjárat történetéről szóló tanulmányai képeznek kivételt.

A *hadtörténeti források* kiadásánál hasonlóan komolyak az adósságok. Talán elég annyit említeni, hogy a szabadságharc 32 végig szolgáló tábornokának közel fele hagyott hátra emlékiratokat, s ezek közül mindössze ötnek van megbízható kiadása (Görgei, Klapka, Wysocki, Leiningen-Westerburg, Schweidel); a hat altábornagy közül öten írták meg emlékirataikat, s ezek közül négy vagy kiadatlan, vagy csak megbízhatatlan, illetve csonka kiadásban hozzáférhető (Mészáros, Vetter, Bem, Dembiński). A különböző fővárosi közgyűjtemények legalább száz kiadatlan honvédtiszti visszaemlékezést őriznek.

Az *iratkiadások* közül – Katona Tamás fentebb említett kötetain kívül – feltétlenül említést érdemel az a munka, amelyet a Hadtörténelmi Levéltár jelentetett meg a 150. évfordulóra (*Saját kezébe, ott, ahol... Az 1848–1849-es forradalom és szabadságharc Hadtörténelmi Levéltárban őrzött katonai irataiból*. Szerk. Farkas Gyöngyi. Az iratokat vál., a német nyelvű iratokat ford. Böhm Jakab. A bev. tanulmányt írta: Csikány Tamás. Bp., 1998.). A kötet 326 dokumentumot tartalmaz, részben eredetiben, részben magyar fordításban. Azonban még így is csak a munka elején vagyunk, hiszen csak a Hadtörténelmi Levéltár 1848–1849-es gyűjteménye legalább 25 000 dokumentumot őriz. Fontos lenne legalább a legfontosabb fővezéri és hadseregarancsnoki iratsorozatok (Bem, Dembiński, Görgei, Vetter, Mészáros, Klapka) kiadása. Ezek közül jelen sorok írója összegyűjtötte Görgei Artúr 1848–1849-es iratait: ennek terjedelme önmagában kb. 80 ívre rúg. Készülöben van egy, Győr, illetve Nagykanizsa 1848–1849-es történetét bemutató okmánytár, amelyeknek nagyobb részét szintén katonai iratanyag alkotja.

Mi az, amit ma másképp látunk, mint 20–25 évvel korábban? Egészében azt mondhatjuk, hogy a hadtörténet talán kezdi visszanyerni tényleges súlyát 1848–1849 történetírásán belül. Ezt mutatják a legújabb történeti összefoglalók, pl. a *19. századi magyar történelem 1790–1918* című egyetemi tankönyv (Szerk. Gergely András. Bp., 1998.) Gergely András által írott fejezete is. A részleteket tekintve komoly hangsúlyeltolódásokról beszélhetünk. Így pl. Urbán Aladárnak köszönhetően ma már tudjuk, hogy Batthyány Lajosnak milyen egyedülállóan fontos szerep jutott az 1848. szeptemberi horvát invázió megállításában, s hogy a pákozdi siker nem az *Országos Honvédelmi Bizottmány*, hanem Batthyány szervezőmunkájának eredménye volt. Magával Pákozddal kapcsolatban viszont úgy tűnik, hogy inkább taktikai döntetlenről, mint a hadjárat sorsát eldöntő győzelemről beszélhetünk. Az osztrák források bevonása után nem látszik tarthatónak pl. az a korábbi állítás, amely szerint a fegyverszünetet Jelačić kezdeményezte volna; a fegyverszüneti egyezmény szövegének vizsgálata pedig azt mutatja, hogy Jelačić – ellentétben a propagandisztikus okokból hangoztatott magyar állítással – nem szegte meg az egyezményt, amikor elvonult Győr irányába.

Urbán Aladár irányította rá a figyelmet arra, hogy Jelačić visszavonulása valóban taktikai jellegű volt, mert a bán október elején támadni akart, s ebben a bécsi forradalom akadályozta meg. A létszámviszonyok vizsgálata révén derült ki, hogy Jelačić üldözésének és a horvát hadsereg megsemmisítésének már 1848 október elején sem voltak komoly esélyei, s hogy Schwechatot a magyar szabadságharc egyik legszerencsésebb csatájának kell tartanunk, mert kevésen múlt, hogy a magyar főserg katasztrofális vereséget szenvedjen.

Az újabb hadtörténeti irodalom szerint 1849. január elején Görgei felvidéki hadjárata komoly szerepet játszott a cs. kir. főserg támadásának leállításában, mert Windisch-Grätz emiatt nem mert elmozdulni Pestről; amikor pedig Görgei az őt üldöző cs. kir. csapatok gyűrűjébe került volna, a többi magyar hadtest, főleg Perczel akciói rémítették meg Windisch-Grätzet annyira, hogy visszarendelje a Görgeit üldöző csapatokat. A tavaszi hadjárat sikerét korábban lebecsülő nézetekkel szemben ma úgy látjuk, hogy a Görgei vezette főserg az ellenséges főerők kiszorításával többet ért el, mint azt az adott erőviszonyok mellett várni lehetett volna. Annál is inkább, mert Kossuth a tavaszi hadjárat második szakaszában számított a Bem vezette, Erdélyből kirendelt csapatok Pest alatti megjelenésére, s mint közismert, erre nem került sor. A létszámát és tüzérségét tekintve erősebb ellenfél támadó hadjáratlalt történő kiszorítása olyan teljesítmény volt, amely ellentmondott a korabeli stratégiai szabályoknak. A tavaszi hadjárat azon korábbi interpretációja, amely szerint az ellenséget csak kiszorítani sikerült, megsemmisíteni nem, már csak azért is furcsa, mert e nézet képviselői Bem hasonlóképpen summázható erdélyi hadjáratáról felsőfokokban szóltak.

A katonai és politikai vezetés, a hadsereg és a politika viszonyáról az újabb kutatások révén szintén más képpel rendelkezünk. Ezek alapján úgy tűnik, hogy Görgei sokat emlegetett váci nyilatkozatának politikai állásfoglalása semmiben sem különbözött Kossuth akkori nézeteitől; hogy a fel-dunai hadtest nem az ellenséggel való megegyezésre ajánlkozott fel a nyilatkozatban, hanem éppen ellenkezőleg, az áprilisi törvények esetleges feladása ellen tiltakozott. Dembiński leváltásával kapcsolatban azt hangsúlyozhatjuk, hogy a korábban tiszafüredi zendülésként emlegetett esemény során a katonai vezetés Szemere Bertalannak, a politikai vezetés táborban tartózkodó képviselőjének révén hajtotta végre az alkalmatlan fővezér eltávolítását, tehát betartotta a polgári államokra vonatkozó normákat. A hadsereg és a Függetlenségi Nyilatkozat viszonya kapcsán pedig kitűnt, hogy a fel-dunai hadseregben nem volt olyan erős az ellenzók tábora, mint azt korábban két utólag hamisított memorandum alapján sejtettük. Buda ostromáról és Görgei komáromi „engedetlenség”-éről már szóltunk. A világosi fegyverletétellel kapcsolatban említést érdemel, hogy egy újabban előkerült minisztertanács határozatból kiderült, miszerint a magyar kormány már a temesvári vereség hírének vétele előtt számolt azzal az eshetőséggel, hogy ha a döntő csata magyar vereséget hoz, és az oroszok sem alkudozni, sem az osztrákok felé közvetíteni nem hajlandók, a magyar hadsereg az oroszok előtt teszi le a fegyverét. Ez pedig azért fontos, mert a világosi fegyverletétellel kapcsolatban utólag éppen e minisztertanács résztvevői által megfogalmazott erkölcsi kifogások erkölcsi alapját teszi kétségessé.

A hadtörténetírás rész- és határterületei közül kiemelendők még a hadszervezet- és intézménytörténeti összefoglaló munkák. Itt külön érdemes szólnunk F. Kiss Erzsébetnek az 1848–1849. évi minisztériumokat bemutató munkájáról (Bp., 1987.), Zakar Péternek a tábori lelkészet történetéről írott, sajtó alatt lévő összefoglalójáról és a hozzájuk csatolt személyi adattárakról, Urbán Aladárnak az 1848-as magyar hadügyminisztérium megszervezését tárgyaló vagy legújabban Öry Gábornak a katonai igazságszolgáltatást bemutató tanulmányáról (*Hadtörténelmi Közlemények*, 1976/1., 1998/1.).

Az elvégzendő feladatok egy részére már utaltunk, de ezeken kívül is akad még jócskán feldolgozandó téma. Így pl. fontos lenne feltárni a tisztikar tagjainak 1848 előtti pályáját. Maguknak a sematizmusoknak az elemzése (ki kivel szolgált együtt, kit ismert) vagy a minősítési lapoknak (Conduite-Liste) feldolgozása is igen tanulságos lehet. Az egyéb forrásanyag (levelezések, naplók, visszaemlékezések) amúgy meglehetősen szegényes, bár az egyes családi levéltárak még itt is sok tanulságos anyagot tartalmazhatnak. Hasonlóképpen újabb feldolgozásra vár a magyar (katonai) emigráció története, hiszen jelenlegi tudásanyagunk jelentős része Ács Tivadar megbízhatatlan munkáiból származik. Ács ugyan lelkes kutatója volt az emigráció történetének, de adatai között nem volt képes szelektálni, a krími, az itáliai vagy az észak-amerikai háborúk történetéről pedig hiányos és pontatlan ismeretei voltak csupán.

Fontos lenne a katonai és politikai vezetés kapcsolatának monografikus elemzése. E tekintetben különösen izgalmas forrásanyagot rejtenek a különböző kormánybiztosi jelentések. Különösen érdekes lenne olyan témák elemzése, mint a hadsereg és a nemzetiségi kérdés viszonya, a katonák beavatkozása a politikai és a politikusok beavatkozása a katonai vezetés illetékességi körébe.

A hivatal- és intézménytörténet területén szükség lenne a tábornok (vezérkar), a hadseregellátást végző szervezetek (intendantúra), a katonai közigazgatás (főhadparancsnokságok, hadmegyék, újonctelepek) ténykedésének bemutatására. Ezekhez kapcsolódnak olyan kérdések, mint a hadseregellátás, illetve a katonai egészségügy rendszere. Zétény Győző, Antal Lajos, F. Kiss Erzsébet munkáiból általában ismerjük az egészségügyi ellátás történetét, azonban a katonai forrásanyag elemzése további tanulságokat rejt magában. Hogyan volt képes az egészségügyi szolgálat lépést tartani pl. az 1849 tavaszán igen gyorsan előretörő magyar fősereggel? Milyen volt a gyógyulási esélye egy kórházba került sebesültnek vagy más betegnek? A kórházi kimutatások elemzése azért is fontos lenne, mert belőlük a korabeli férfilakosság egy jól körülhatárolható csoportjának népességügyi helyzetéről is érdemi adatokhoz juthatunk.

Szükség lenne az újoncállítás és hadkiegészítés történetének feldolgozására is. Mi a magyarázata annak, hogy 1848. december végére több mint százezer főt számlált a honvédsereg? Igaz-e az az állítás, hogy 1849 késő tavaszán és kora nyarán az osztrák államapparátus gyorsabban állította ki újoncait, mint a magyar, s ha igen, mi volt ennek az oka? A levéltári anyagból ugyanis úgy tűnik, hogy az újoncállítás üteme ezúttal sem volt lassúbb, mint 1848 őszén vagy telén, azonban a hadfelszerelés nem volt képes lépést tartani az újonclétszám növekedésével.

Szinte semmilyen ismeretünk nincs a két fél hírszerzésének működéséről, sikereiről és kudarcairól. Mi a magyarázata annak, hogy a korábbi ügynöki rendszer révén Magyarországon biztos pozíciókkal rendelkező cs. kir. hadsereg hírszerzése olyan rosszul működött? Az eddig előkerült osztrák hírszerzői jelentések elemzése arra mutat, hogy a cs. kir. hadseregnek nem voltak magas állású informátorai a magyar katonai igazgatásban; aki nem értett egyet az üggyel, az általában megtalálta az átállás módját.

Hiányzik a nemzetőrség 1848 ősze utáni történetének feldolgozása is. Pedig jó lenne tudni, hogy ez a nagy létszámú rendvédelmi szervezet milyen szerepet játszott az 1848. késő őszi hadműveletekben. Hogyan szerepelt 1849 telén és tavaszán a magyar kézen lévő területeken, meddig alkalmazták katonai célokra? A cs. kir. megszállás alól felszabadított területeken újjászervezték-e, s ha igen, milyen sikerrel? Mennyiben volt azonos a népfelkelés a mozgósított nemzetőrséggel?

A statisztikailag elemezhető források közül fontos lenne a harcrendek és más létszámkimutatások, valamint a veszteségadatok összegyűjtése és elemzése. Amíg egy hadműveletben részt vevő erők nagyságát és összetételét nem ismerjük, addig nem lehet róluk érvényes mondanivalónk. Amíg nem ismerjük a veszteségek nagyságát és arányát, nem tudjuk megítélni az egyes hadseregek teljesítményét sem. Furcsa módon, 1848–1849 hadviselői közül pontos adatokkal csak az oroszok veszteségeiről rendelkezhetünk, az osztrák és magyar veszteségekről homlok-egyenest ellenkező, időnként 100%-os eltérést tartalmazó adataink vannak.

A hadműveletek és csaták elemzésénél a korábbi történetírás két csapdába szokott beleesni. 1918 előtt – a levéltári anyag híján – készpénznek vette az emlékiratok állításait; ezt követően viszont – néhány kivétellel – kiejtette azokat forrásai köréből. Holott a hadijelentések legalább annyi torzítást tartalmaznak, mint az emlékiratok és naplók, s ez utóbbiak gyakran pontosabban őrizték meg a csaták és ütközetek részleteit, mint a teleologikus jellegű hadijelentések. Az ilyen jellegű források bevonása révén sokkal pontosabb és élettelibb kép adható egy-egy összecsapásról, mint a száraz katonai elemzés.

Az emlékiratok és naplók, illetve pl. a parancskönyvek elemzése révén pedig végre arra is választ kaphatunk, hogy mit csináltak a katonák a táborban, amikor éppen nem harcoltak (azaz idejük 99%-ában)? Még az is elképzelhető, hogy volt olyan alakulat, amely fennállása során egyetlenegyszer sem került tűzbe. Az életmód- és mentalitástörténeti megközelítésben rejlő lehetőségekre éppen az évfordulón adott jó példát Benda Gyula Krasznay Péter honvéd hadnagy emlékiratát közlétevé kötetében (*Naplójegyzetei Krasznay Péter kemecsei lakosnak.... Visszaemlékezések 1830–1861. Bp., 1998.*).

Nagyon fontos ugyanakkor az események katonai szakmai szemmel történő elemzése is. Egy-egy emlékirat vagy hadijelentés ugyanis a korabeli szabályzatok, harcászati eljárások ismeretében egészen másként fest, mintha ezek ismerete nélkül próbáljuk értelmezni őket. Ezért is lenne fontos az, hogy a szabadságharc (és más korszakok) hadtörténetével megfelelő köztörténeti ismeretekkel rendelkező katonák is foglalkozzanak.

MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

KONVEK ÉS KOMBINATORIKUS GEOMETRIA

BÁRÁNY IMRE

Sylvester egy problémájáról

Ahogy kezdődött

Az *Educational Times* 1864. évi áprilisi számában J. J. Sylvester egy kérdést vetett föl [Sy1], amely később Sylvester „négy pont-problémája” néven vált ismertté. A kérdés így szól: „Show that the chance of four points forming the apices of a reentrant quadrilateral is $1/4$ if they be taken at random in an indefinite plane.”

Az *Educational Times* szorgalmas olvasói munkához láttak, és egymás után küldték be a megoldásokat. A szerkesztő és az olvasótábor meglepetésére az eredmények különböztek egymástól (lásd [Pf]):

| a megoldó | a P valószínűség |
|---------------------|--------------------|
| Cayley és Sylvester | $1/4$ |
| De Morgan | $1/2$ |
| Wilson | $1/3$ |
| Ingleby | $P < 1/2$ |
| ismeretlen nevű | $3/8$ |
| Woolhouse | $35/12\pi^2$. |

Senki sem értette, hogy mi ennek az oka. (Ma már tudjuk, hogy az „indefinite plane”, mert nincs rajta természetes valószínűségi mérték.) „This problem does not admit of a determinate solution” – mondta Sylvester 1865-ben [Sy2], és nyomban módosította a kérdést. Legyen K konvex síkhalmaz, és válasszunk négy pontot K -ből véletlenül, egyenletesen és függetlenül. Milyen $p(K)$ valószínűséggel lesz a négy pont konvex burka háromszög? Illetve, milyen K esetén a legnagyobb, illetve a legkisebb ez a $p(K)$ valószínűség? Woolhouse már idézett eredménye a körre vonatkozik, tehát

$$p(\text{kör}) = \frac{35}{12\pi^2}$$

Sylvester megmutatta, hogy $p(\text{háromszög}) = 1/3$. Sylvester sejtette (és Blaschke 50 évvel később bebizonyította [Bl]), hogy minden K konvex, kompakt és pozitív területű síkbeli halmazra

$$p(\text{kör}) \leq p(K) \leq p(\text{háromszög}).$$

Ez a sejtés és bizonyítása hosszú időre megszabta a kutatások irányát (lásd Hostinsky [Ho], Miles [Mi], Rényi-Sulanke [RS], Schneider [Sc]): milyen jól közelíti a K konvex testbe írt K_n véletlen politóp K -t. (Itt $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test, azaz konvex, kompakt, nemüres-belsejű halmaz, $X_n = \{x_1, \dots, x_n\}$ véletlen, független, egyenletes eloszlás szerinti n -elemű minta K -ból, és végül $K_n = \text{conv } X_n$).

Mi most visszakanyarodunk Sylvester eredeti kérdéséhez. Az olvasó mindent megtudhat véletlen politópokról (például) Wieacker és Weil összefoglaló cikkéből [WW] és az ottani referenciákból.

Vissza Sylvesterhez

Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test és $X_n = \{x_1, \dots, x_n\}$ véletlen minta K -ból. Defináljuk – Sylvester nyomán – a $p(n, K)$ számot mint annak a valószínűségét, hogy X_n „konvex helyzetben van”, vagyis semelyik x_i sem eleme a többi pont konvex burkának. Sylvester eredeti „négy pont-problémájá”-ban a komplementer valószínűségről van szó: $p(K) = 1 - p(4, K)$.

Sikerült meghatároznom $p(n, K)$ aszimptotikus viselkedését [Bá2]. Jelölje $AP(S)$ az $S \subset \mathbb{R}^2$ konvex halmaz affin kerületét (lásd Blaschke [Bl]), és legyen

$$A(K) = \sup\{AP(S) : S \text{ konvex, } S \subset K\}.$$

1. tétel.

Ha $K \subset \mathbb{R}^2$ konvex és $\text{Area } K=1$, akkor

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^2 \sqrt{p(n, K)} = \frac{e^2}{4} A^3(K).$$

Hogy jön ide az affin kerület? Vagy az affin kerületek szuprénuma? Egy félmagyarázat: mindkét mennyiség affin invariáns (tehát nem változik, ha K -ra egy területtartó affin leképezést alkalmazunk). Továbbá $AP(K)$ a „legtermészetesebb” affin invariáns mennyiség. Bővebb magyarázat és bizonyítás található [Bá2]-ben.

Blaschke kiválasztási tételéből következik, hogy $A(K)$ definíciójában a \sup helyett maximumot lehet írni. [Bá1]-ben bizonyítottam, hogy a maximum egyetlen $K_0 \subset K$ konvex halmaz esetén vétetik föl. K_0 -nak nagyon szép tulajdonságai vannak. Ezek közül számunkra most az a legérdekesebb, hogy a konvex helyzetű minták erősen koncentrálnak K_0 körül. Pontosabban [Bá2] érvényes a

2. tétel.

Minden $K \subset \mathbb{R}^2$ konvex test és minden $\varepsilon > 0$ esetén

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{Prob} \left[\rho(\text{conv } X_n, K_0) > \varepsilon \mid X_n \text{ konvex} \right] = 0.$$

Itt ρ a Hausdorff-távolságot jelöli, azaz $S, T \subset \mathbb{R}^2$ esetén $\rho(S, T) < x$ pontosan akkor áll fenn, ha S T -nek x -sugarú környezetében van, és T S -nek x -sugarú környezetében van.

Jelöljük $Q(X_n)$ -nek az X_n mintában szereplő konvex sokszögek összességét, vagyis

$P \in Q(X_n)$, ha $P = \text{conv}\{x_{i_1}, \dots, x_{i_k}\}$ valamilyen $x_{i_1}, \dots, x_{i_k} \in X_n$ -re. $Q(X_n)$ maximális eleme éppen a $K_n = \text{conv } X_n$ véletlen sokszög, ez egyébként $Q(X_n)$ leggyakrabban vizsgált eleme. Az 1. tétel alapján meghatározható $Q(X_n)$ elemszámának várható értéke [Bá2]:

3. tétel.

Az 1. tétel feltételei esetén

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{\frac{1}{3}} \log E|Q(X_n)| = 3\sqrt[3]{\frac{I}{4} A(K)}.$$

$Q(X_n)$ elemei is erősen koncentrálnak K_0 körül, a pontos állítást itt nem ismertetjük. Érdekes analógia van $Q(X_n)$ és $P_n(K)$, a K -ba eső konvex rácssokszögek összessége között, itt a rács a sűrű

$\frac{1}{2} \mathbb{Z}^2$ rács. [Bá1] egyik tétele szerint

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{-\frac{2}{3}} \log |P(K)| = 3\sqrt[3]{\frac{\xi(3)}{4\xi(2)}} A(K).$$

(Itt $\xi(s)$ a Riemann-féle zéta-függvény.) A 3. tételben n más kitevővel szerepel. A magyarázat egyszerű: X_n -ben n pont van, míg K n^2 rácspontot tartalmaz.

[Bá1] egy másik tétele szerint $P_n(K)$ elemei is erősen koncentrálnak K_0 körül. A $Q(X_n)$ és $P_n(K)$ közötti analógia megerősíti azt a meggyőződésemet, hogy véletlen pontok és rácspontok „általános helyzetű” konvex halmazokban nagyon hasonló viselkedést mutatnak.

Mi a helyzet magasabb dimenzióban? Minden bizonnyal hasonló eredmények igazak. De például K_0 egyértelműsége nem ismert – a technikai (és talán nemcsak technikai) nehézségek jelentősek. Mégis azt sejttem, hogy ha $K \subset \mathbb{R}^d$ egységnyi térfogatú konvex test, akkor alkalmas $c(d)$ állandóval

$$\lim_{n \rightarrow \infty} n^{\frac{2}{d-1}} \sqrt[n]{p(n, K)} = c(d) A(K)^{\frac{d+}{d-}}.$$

A következő szakaszban az alábbi, a sejtésnél kicsit gyengébb tételt igazoljuk:

4. tétel.

Ha $K \subset \mathbb{R}^d$ egységnyi térfogatú konvex test, akkor alkalmas pozitív és csak d -től függő c_1 és c_2 állandókkal

$$c_1 \leq n^{\frac{2}{d-1}} \sqrt[n]{p(n, K)} \leq c_2.$$

E ponton tehát búcsút veszünk a bizonyítás részletei iránt nem érdeklődő olvasótól.

A bizonyítás

Először a jobb oldali egyenlőtlenséget igazoljuk. Felhasználjuk Bronstein [Br] szép tételét: Legyen $\mathcal{C}(K)$ K összes konvex részalmazainak rendszere, és legyen $\varepsilon > 0$. Ekkor van $\mathcal{C}(K)$ -ban egy

$$N \leq \exp \left\{ b_1(d) \varepsilon^{-\frac{2}{d-1}} \right\}$$

elemű $\{C_1, \dots, C_N\}$ ε -háló, vagyis minden $C \in \mathcal{C}(K)$ -hoz van olyan C_i eleme az ε -hálónak, amelyre $\rho(C, C_i) < \varepsilon$ (ahol ρ a Hausdorff-távolság).

Legyen

$$\varepsilon = n^{-\frac{2}{d-1}}$$

(pontos előrelátással), és rögzítsük a megfelelő ε -hálót. Ha X_n konvex helyzetben van, akkor $\rho(\text{conv } X_n, C_i) < \varepsilon$ egy alkalmas C_i -re. Ebből könnyen látszik, hogy $X_n \subset C_i + \varepsilon B^d$. Megbecsüljük X_n halmaz térfogatát (ha ε elég kicsi):

$$\text{vol}(\delta C_i + \varepsilon B^d) \leq 2\varepsilon \text{vol}_{d-1} \delta C_i \leq 2\varepsilon \text{vol}_{d-1} \delta K.$$

Föltehetjük, hogy $2 \text{vol}_{d-1} \delta K \leq b_2(d)$, hiszen ez elérhető egy alkalmas térfogat-tartó affin leképezéssel, és ettől $p(n, K)$ értéke nem változik. Így

$$\begin{aligned} p(n, K) &= \text{meas} \left\{ \{x_1, \dots, x_n\} \in K \times \dots \times K : X_n \text{ konvex} \right\} \\ &\leq \text{meas} \left(\bigcup_1^N \left\{ \{x_1, \dots, x_n\} : x_1, \dots, x_n \in \delta C_i + \varepsilon B^d \right\} \right) \\ &\leq \sum_1^N \left(\text{vol}(\delta C_i + \varepsilon B^d) \right)^n \\ &\leq N \left(b_2(d) \varepsilon \right)^n \leq \left(b_2 e^{b_1} n^{-\frac{2}{d-1}} \right)^n. \end{aligned}$$

Az utolsó lépésben használtuk csak ε értékét.

Lássuk most a bal oldali egyenlőtlenség bizonyítását! Egyszerűen adódik, hogy ezt elég $K=B^d$ esetén igazolni. (Nagyvonalúan eltekintünk most a $\text{vol } K=1$ feltételtől, de $\text{vol } B^d = \text{constans}$ is éppúgy jó.)

Legyen $A(\varepsilon) = B^d \setminus (1-\varepsilon)B^d$ az úgynevezett ε -gyűrű. A választás

$$\varepsilon = \Delta n^{-\frac{2}{d-1}}$$

lesz, kicsi, pozitív és csak d -től függő Δ -val. Legyen továbbá $x \in A(\varepsilon)$ esetén

$$G(x) = \{y \in A(\varepsilon) : \cos(x, y) \geq 1 - \varepsilon\},$$

ahol (x, y) az x, y vektorok által bezárt szög.

Az $x_1, \dots, x_k, \dots, x_n$ sorozatot rekurzióval adjuk meg. $x_1 \in A(\varepsilon)$ egyenletes eloszlás szerint. Ha pedig már x_1, \dots, x_{k-1} megvan, akkor legyen

$$x_k \in A(\varepsilon) \setminus \bigcup_{i=1}^{k-1} G(x_i)$$

ugyancsak az egyenletes eloszlás szerint. Az olvasó könnyűszerrel meggyőződhet arról, hogy az így kapott $\{x_1, \dots, x_n\}$ halmaz konvex helyzetben van. Egy egyszerű becslés:

$$\begin{aligned} \text{vol} \left(A(\varepsilon) \setminus \bigcup_{i=1}^{k-1} G(x_i) \right) &\geq \text{vol } A(\varepsilon) - \sum_{i=1}^{k-1} \text{vol } G(x_i) \\ &\geq b_3 \varepsilon - (k-1) b_4 \varepsilon^{\frac{d+1}{2}} \geq b_3 \varepsilon - n b_4 \varepsilon^{\frac{d+1}{2}}, \end{aligned}$$

alkalmas és csak d -től függő b_3, b_4 konstansokkal. Végül tehát

$$\begin{aligned} p(n, K) &\geq \prod_{k=1}^n \text{vol} \left(A(\varepsilon) \setminus \bigcup_{i=1}^{k-1} G(x_i) \right) \\ &\geq \left(b_3 \varepsilon - n b_4 \varepsilon^{\frac{d+1}{2}} \right)^n \\ &= \left(b_3 \Delta - b_4 \Delta^{\frac{d+1}{2}} \right)^n n^{-\frac{2}{d-1}} \end{aligned}$$

ami igazolja az állítást.

Irodalom

- [Bá1] Bárány Imre: Affine perimeter and limit shape. *J. Reine Ang. Math.*, 484 (1997) 71–84.
- [Bá2] Bárány Imre: Sylvester's question: the probability that n points are in convex position, *kézirat* (1998).
- [Bl] Blaschke, W.: *Vorlesungen über Differentialgeometrie II. Affine Differentialgeometrie*. Berlin, 1923. Springer.
- [Br] Bronstein, E. M.: ε -entropy of convex sets and functions. *Sibirsk. Mat. Zh.*, 17 (1976) 508–514.
- [Ho] Hostinsky, B.: Sur les probabilités géométriques. *Publ. Fac. Sci. Univ. Brno*, 1925.
- [Mi] Miles, R. E.: Isotropic random simplices. *Adv. Appl. Prob.*, 3 (1971) 353–382.
- [Pf] Pfeifer, R. E.: The historical development of J. J. Sylvester's four-point problem. *Math. Magazine*, 62 (1989) 309–317.
- [RS] Rényi, A., Sulanke, R.: Über die konvexe Hülle von n zufällig gewählten Punkten. *Z. Wahrsch. Verw. Geb.*, 2 (1963) 75–84.
- [Sc] Schneider, R.: Random approximation of convex sets. *J. Microscopy*, 151 (1988) 211–227.
- [Sy1] Sylvester, J. J.: Problem 1491. *The Educational Times*, London, 1864, April.
- [Sy2] Sylvester, J. J.: *Report of the British Association*, 35 (1865) 8–9.
- [WW] Weil, W., Wieacker, J. A.: Stochastic geometry. In: *Handbook of convex geometry*. Amsterdam, Elsevier, North Holland, 1993. 1391–1438.

BEZDEK ANDRÁS

Egybevágó testek elhelyezésének sűrűségéről

Bevezetés

Az elhelyezések és fedések elméletének egyik a alapfogalma a sűrűség. Képzeljük el, hogy egy adott véges tartományba minél több adott méretű kört szeretnénk pakolni úgy, hogy azok ne fedjék egymást. Valójában azt szeretnénk ilyenkor tudni, hogy a tartomány legfeljebb mekkora hányadát fogják a körök elfoglalni. Ezt a hányadot fogjuk a kör elhelyezési sűrűségének hívni. Ez utóbbi fogalom értelmezhető körök helyett más tartományokra is, továbbá akkor is, ha végtelen sok tartományt helyezünk el a síkban (ill. a magasabb dimenziós euklideszi tér esetén az egész térben). Ilyenkor a sűrűséget egy határértékkel szokás definiálni, gondosan ügyelve arra, hogy az így kapott szám megfeleljen „a hányad”-ra vonatkozó intuitív elvárásainak. Valójában mellőzhetnénk az itt következő pontos, legáltalánosabb definíció megadását. Mégis megadjuk a definíciót, egyrészt a teljesség kedvéért, másrészt azért, mert az ezután következő rövid történelmi áttekintés végén, amikor az újabb eredményeket ismertetjük, szükség lehet a fogalom precízebb ismeretére.

Sűrűségdefiníciók

Tekintsük a d -dimenziós euklideszi teret. Csak olyan geometriai alakzatokat, testeket vizsgálunk, amelyeknek van térfogatuk. $V(A)$ fogja jelölni az A test térfogatát. Legyen adott a d -dimenziós térben egymást nem metsző A_i , ($i = 1, \dots$) testekből álló A elhelyezés, továbbá a K tartomány és egy O pont, amit origónak hívunk. A következő eljárást követjük. O -ból mint középpontból $\lambda > 0$ faktoriala nagyítjuk K -t. Minden egyes λ értékre meghatározzuk, hogy az elhelyezés elemei mekkora hányadát foglalják el K -nak, ill. azt, hogy azok az elemek, amelyeknek van K -val közös pontjuk, K térfogatának hányszorosát teszik ki. Az előbbi számok limesz infimumát az A elhelyezés K -ra vonatkozó alsó sűrűségének hívjuk és d_- -szal jelöljük, míg az utóbbiak limesz szuprimumát az A elhelyezés K -ra vonatkozó felső sűrűségének hívjuk, és d^+ -szal jelöljük. Az A elhelyezés d sűrűségéről akkor beszélünk, ha $d = d_- = d^+$. d természetesen függ a K és O választásától. Végül, ha rögzítünk egy

P tartományt, akkor a P tartomány elhelyezési sűrűségén, $\delta(P)$ -n a P egybevágó példányából álló elhelyezéseinek különböző K és O esetén vett sűrűségeinek szuprémumát értjük. A sűrűség létezését nagy általánosságban H. Groemer [Gro] vizsgálta. Többek között megmutatható, hogy minden P esetén van egy olyan elhelyezés, amelynek minden (K, O) párra vonatkozó felső és alsó sűrűsége egyenlő, és ráadásul egyenlő az előbbi szuprémummal. Ami azt jelenti, hogy ez a szám mindig létezik, és valóban azt méri, hogy a tér legfeljebb mekkora hányadát foglalhatják el K példányai egy elhelyezésben.

Konvex test alatt mindig a 3-dimenziós térnek belső ponttal rendelkező kompakt, konvex halmazát fogjuk érteni. Pontrács vagy röviden rács alatt pedig az $mA + nB + pC$ helyvektorú pontok halmazát értjük, ahol A, B és C három adott lineárisan független vektort, m, n és p pedig tetszőleges egész számokat jelöl. Ha adott K konvex test és egy Λ rács úgy, hogy bármely két x, y rácpont esetén az $x + K$ és az $y + K$ testeknek nincs közös belső pontjuk, akkor a $L + K = \{x + K : x \in \Lambda\}$ testek rendszerét K egy rácselhelyezésének hívjuk. Ekkor nyilván $V(K) / \det(A, B, C)$ hányados lesz az elhelyezés sűrűsége.

Teljesen hasonlóan definiálhatók a sík fedéseinek sűrűségei, ill. hasonlóan értelmezhető egy adott tartomány fedési sűrűsége.

Síkbeli eredmények

Az elhelyezések elméletének egyik klasszikus tétele szerint (A. Thue [Th], 1892) egybevágó körökből álló elhelyezések sűrűsége legfeljebb $\pi/\sqrt{12}$. Az egység-körök méhrácsszerű elhelyezése mutatja, hogy ez a sűrűség el is érhető. A fedésekre vonatkozó analóg eredmény (R. Kershner [Ke], 1939) ma már szintén klasszikusnak tekinthet: a sík egybevágó körökből álló fedésének sűrűsége legalább $2\pi/\sqrt{27}$, és ez a minimum ugyancsak egy méhrácsszerű elrendezésnél lép fel. A méhrácsszerű kifejezés az egybevágó hatszögekből álló mozaikra utal. A legsűrűbb körelhelyezést akkor kapjuk, ha a hatszögek beírt köreit tekintjük, a legritkább fedést pedig akkor, ha a hatszögek körülírt köreit tekintjük. Tue és Kershner ezekkel a tételekkel egy olyan új tudományág alapköveit rakták le, amely később Fejes Tóth László munkássága nyomán teljességedt ki, és amit ma diszkrét geometriának hívunk.

A diszkrét geometria legtöbbször olyan egyszerűen megfogalmazható problémákkal foglalkozik, amelyek akár egy gimnáziumi diáknak is elmagyarázhatók, megoldásuk azonban gyakran nagyon eredeti ötleteket és sokszor mélyebb matematikai eszközök használatát igényli. Ezek a a szellemes problémák számos matematikust – köztük Bárány Imrét, Bezdek Andrást és Károlyt, Böröczky Károlyt, Fejes Tóth Gábort, Makai Endrét, Pach Jánost – vonzották Fejes Tóth László köré. A magyar iskola mellett említést érdemel a német (amelyet H. Minkowski alapított és H. F. Blichfeldt folytatott) és az angol (amely C. A. Rogers körül alakult ki). E terület számos fontos tételének bizonyítása ötvözi a számelméletet, a geometriát, a kombinatorikát és a konvexitás elméletének különböző módszereit. A számí-

tástechnika egy másik új tudománya a *computational geometry*, a diszkrét geometriai eredmények új alkalmazási területe lett. Tekintve, hogy optimális elhelyezések tulajdonságainak ismerete kulcsfontosságú a különböző algoritmusok létrehozásánál, a diszkrét geometria fontossága mindmáig tovább növekszik.

Számos alapvető fontosságú, centrálszimmetrikus tartományok elhelyezésével és fedésével kapcsolatos síkbeli tétel már nagyon régóta ismert. Fejes Tóth László egyik tétele szerint ilyen tartományok elhelyezési sűrűsége azonos a tartomány köré írt minimális területű centrálszimmetrikus hatszög és a tartomány területének hányadosával. Érdekes viszont, hogy a fedésekre vonatkozó analóg tétel még ma sem ismeretes.

C. A. Rogers [Ro2] bizonyította, hogy ha egy adott konvex lemez elhelyezései közül csak azokra szorítkozunk, amelyekben csak eltolt példányokat engedünk meg, akkor a legnagyobb sűrűség rácsszerű elhelyezéssel is megvalósítható. Ez az állítás a konvexitás feltétele nélkül már nem igaz. Bezdek András [B1] konstruált egy nem konvex 14 oldalú sokszöget, ami igazolja ezt a negatív állítást. Az 1. ábra azt az elhelyezést mutatja, ami ennek a sokszögnek az eltoltjaiból áll, és a sűrűsége nagyobb, mint az ugyanolyan sokszögekből készíthető 1. b ábra szerinti legsűrűbb rácsszerű elhelyezésé. Fejes Tóth László [FL3], Pach János [Pa2] és C. A. Rogers [Ro1] monográfiái a klasszikus eredményeket tartalmazzák, Fejes Tóth Gábor és W. Kuperberg [FG1, FK1, FK2] áttekintő cikkei a tudományág új eredményeit tekintik át.

A legsűrűbb gömbelhelyezés problémája

A három- és magasabb dimenziós terekben az elhelyezési és fedési problémák lényegesen nehezebbek, mint a síkon. Ez még akkor is így van, ha csak az eltolt példányokból álló elhelyezésekre szorítkozunk, és azok között akarjuk megtalálni az optimálist. Többek között még a gömb legsűrűbb elhelyezése sem ismert. A ma Kepler-sejtésként (1611) idézett probléma szerint egyenlő sugarú gömbök sűrűsége legfeljebb $\pi/\sqrt{18}$, és a maximális sűrűség akkor érhető el, ha a középpontok tércentrált kockarácsot alkotnak, azaz ha a középpontok koordinátái $\sqrt{2}$ egész számú többszörösei. (4. ábra). W. Y. Hsiang [Hs] 1993-ban publikált közel százoldalas „bizonyítása” elemi állítások olyan sorozata, amelyek közül számos nem bizonyított, több módosításra szorul, több reménytelenül nehéznek tűnik, de kiegészítve a hiányokat, elvezethetne a sejtett optimális elhelyezéshez. Valójában ez a cikk a Fejes Tóth László által korábban publikált bizonyítási tervnek egy lényegesen kifinomított tervezete. T. Hales dolgozik hosszú ideje egy számítógépet felhasználó bizonyításon. Több százezer lineáris programozási feladat ölelné fel az összes vizsgálandó esetet. Valószínűleg még ez utóbbi program befejezése sem pótolná az igazi geometriai megoldás olyannyira zavaró hiányát. Mindaddig azonban egyfajta versenykihívás marad a sejtett 0,7404... sűrűségérték bizonyítása helyett olyan, a 0,7404... értéknél alig nagyobb számok keresése, amely értéket gömbelhelyezések sűrűsége már biztosan nem haladhat meg. A sort H. Blichfeldt

(1929) nyitotta meg 0,835 megadásával, majd C. A. Rogers (1964) 0,7796, Böröczky Károly (1984) és J. H. Lindsey (1986) függetlenül egymástól 0,7784, végül pedig D. J. Muder (1993) 0,7731 megadásával következtek. Áttörés lenne a 0,7546 bizonyítása, ami geometriailag azt jelentené, hogy a gömb elhelyezési sűrűsége nem lehet nagyobb, mint az egységgömb és a köréje írt szabályos dodekaéder térfogatának hányadosa. Ez utóbbi állítás Fejes Tóth László dodekaéder-sejtéseként (1943) ismert, és úgy hangzik, hogy egy gömbelhelyezés által generált Voronoi-cellák térfogatai nem lehetnek kisebbek a szabályos dodekaéder térfogatánál. A közelmúltban Bezdek Károly [Be1] visszavezette ezt a problémát egy egyszerűbb kérdésre, ami talán jobban kezelhető. Egy másik cikkében [Be2] pedig a Voronoi-cellák felszínére vonatkozó analóg kérdést vizsgálta. Az itt felsoroltak és a magasabb dimenziós gömbelhelyezési problémákról szóló eredmények [FK1] alapján kereshetők meg.

A sejtett legsűrűbb elhelyezés láthatóan gömbsorokból áll, ahol egy gömbsoron olyan gömbök egyesítését értjük, amelyek középpontjai egy egyenesen vannak, és amelyek mindegyikét pontosan két másik gömb érinti. Bezdek András, Makai Endre és W. Kuperberg [BKW] egy tétele Böröczky Károly és A. C. Woods (1975) sejtését igazolja, miszerint ha párhuzamos gömbsorok eltoltjaiból álló elhelyezéseket tekintjük csak, akkor a legnagyobb sűrűség pontosan a Kepler-sejtés szerinti érték. Noha nagyon speciálisnak tűnik ez a tétel, a vizsgált osztály bővebb, mint a rácsszerű gömbelhelyezések osztálya, és így a tétel Gauss [Ga], 1831-ben bizonyított, rácsszerű gömbelhelyezésekre vonatkozó tétele általánosításának tekinthető.

Egyéb testek legsűrűbb elhelyezései

Érdemes lenne az előző bekezdés utolsó tételét a gömbsorok párhuzamosságának feltétele nélkül is bebizonyítani. Ez a gondolat vezet el más végtelen tartományok, így például a végtelen körhenger sűrűségének vizsgálatához. A szerző W. Kuperberggel közösen [BK1] megmutatta, hogy egybevágó végtelen körhengerek sűrűsége akkor maximális, ha a hengerek párhuzamos tengelyűek, és minden hengert pontosan hat másik érint. Ez volt az első nem triviális test, (azaz nem olyan test, amivel a tér hézagatlanul parkettázható), aminek az elhelyezési sűrűsége pontosan meghatározható volt. Azóta a szerző [B2] talált egy másik testet (pontosabban a testek egy osztályát), amik a végtelen hengerrel ellentétben korlátosak, és elhelyezési sűrűségük meghatározható volt.

J. B. Wilker egyik máig megoldatlan sejtése szerint ugyanez igaz marad akkor is, ha véges körhengereket tekintünk. W. Kuperberggel megmutattuk [BK2], hogy vannak olyan véges prizmak, amelynek alapja kompakt, sőt konvex, vagy akár centrálszimmetrikus tartomány is lehet, mégis nem párhuzamos helyzetű példányakkal sűrűbben pakolható a tér, mint eltolt példányakkal. Prizma (más néven véges henger) alatt egy kompakt tartomány és egy szakasz Descartes-szorzatát értjük. A 2. ábra szerinti prizma úgy keletkezett, hogy egy $1 \times 3 \times 4$ -es téglalapról

kivágtunk egy $1 \times 1 \times 2$ téglatestet, majd az így keletkező gyűrűt (láncszemet) két egybevágó részre vágjuk. Látható módon a láncszemekből összerakható egy olyan oszlop, aminek keresztmetszete „vöröskereszt” alakú, és így ilyen egybevágó oszlopokkal a tér kitölthető. Könnyű látni, hogy ilyen prizmák eltoltjaival a tér nem tölthető ki.

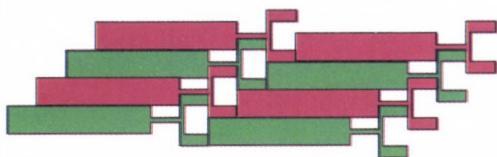
A 3. ábra azt mutatja, hogy lehet olyan ötszögalapú, vékony prizmát konstruálni, amelynek az elhelyezési sűrűsége tetszőlegesen megközelítheti az 1-t, míg ez nem tehető meg, ha ugyanezen hengereknek eltoltjait engedjük csak meg. Válaszszunk olyan prizmát, aminek az alapja ötszög, magassága pedig nagyon kicsi, és három példányát a 3. ábra szerint tölcseyszerűen egymáshoz illeszthetjük úgy, hogy azok felülnézete egy szabályos hatszög legyen. Ha a prizma magasságát elég kicsire választjuk, ilyen tölcseket egymásba pakolva végtelen oszlopokat készíthetünk, az oszlopokat pedig, lévén a keresztmetszetük hatszög, úgy helyezhetjük egymás mellé, hogy az elhelyezés sűrűsége tetszőlegesen közel legyen 1-hez. Ugyanakkor könnyű látni, hogy az alaplap eltoltjai nem töltik ki hézagtalanul a síkot.

Köztudott, hogy az ellipszoid a gömb affin képe. Ezért is meglepő, hogy a Kepler-sejtés analógja nem igaz az ellipszoidokra, pontosabban az derült ki, hogy léteznek ellipszoidok, amelyeket nem rácsszerűen sűrűbben lehet pakolni, mint rácsszerűen.

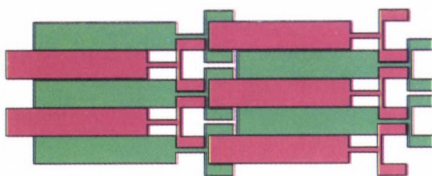
Térbeli testek legsűrűbb rácsszerű elhelyezései

H. Minkowskitól származik az az észrevétel, hogy adott K konvex test és Λ rács esetén $\Lambda + K$ pontosan akkor lesz rácselhelyezés, ha a $K_c = K - K = \{x - y : x, y \in K\}$ különbség test belseje az origón kívül egyetlen rácpontot sem tartalmaz. Ha az utóbbi feltétel teljesül, akkor a Λ rácsot a szimmetrizált test megengedett rácsának tekinthetjük. A rácsot a test kritikus rácsának nevezzük, ha minden más megengedett rács alap-parallelipedonjának a térfogata (determinánsa) legalább akkora, mint az övé. Ebből következik, hogy K legsűrűbb rácselhelyezésének meghatározása ekvivalens a K_c szimmetrizált test kritikus rácsának meghatározásával. Az alábbi két, H. Minkowskitól származó lemma lehetőséget nyújt a kritikus rács meghatározásához. Az első azt mondja, hogy ha A, B, C egy Λ rács olyan bázisa, hogy A, B és C a K_c különbség test határán van, míg az $A \pm B, A \pm C, B \pm C, A \pm B \pm C, 2A \pm B \pm C, A \pm 2B \pm C, A \pm B \pm 2C$ egyike sem belső pont, akkor Λ a K_c megengedett rácsa. A másik szerint ha Λ rács kritikus, akkor van egy olyan A, B, C bázisa, hogy az $A - B, B - C, C - A$ ponthármas, vagy pedig az $A + B, B + C, C + A$ ponthármas a $K - K$ határához tartozik. A módszer világosan látszik: tekinteni kell mindazokat a rácsokat, amelyek a második lemma feltételeit kielégítik azzal a feltétellel, hogy az elsőben felsorolt pontok egyike sem belső pont, és közülük kell kiválasztani a legkisebb determinánsút. Ezzel a módszerrel a tetraéder (D. J. Hoyalman, 1969), a szabályos oktaéder (Minkowski, 1904), a gömb (Chalk, 1950), a kocka és az átlójára merőleges, a középpontjára szimmetrikus sáv közös része

(a)

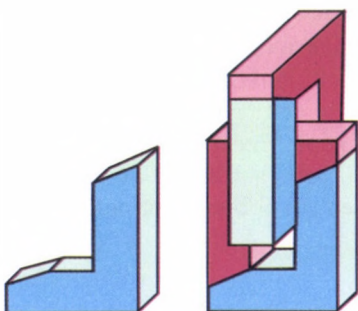


(b)



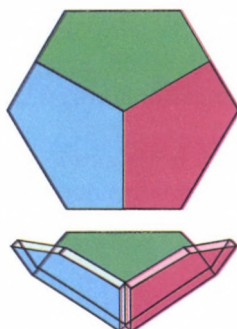
1. ábra.

Sokszög, amelyiknek van a legsűrűbb rácshelyezésnél (a) sűrűbb elhelyezése (b)



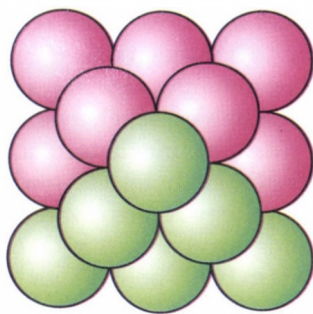
2. ábra.

Prizma, amivel a tér kiparkettázható,
míg az alaplapjával a síkon
ez nem tehető meg



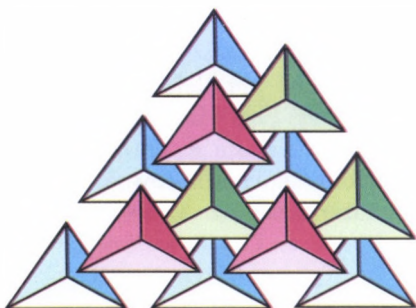
3. ábra.

Konvex alapú prizma
olyan elhelyezése, amelyik sűrűbb
minden eltolt példányból állónál



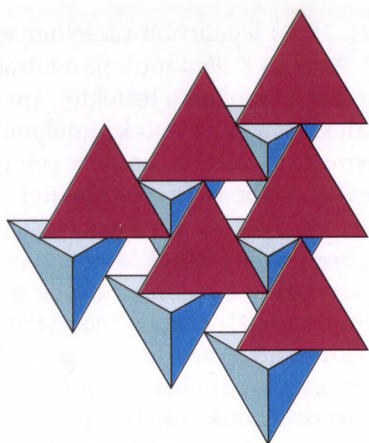
4. ábra.

A sejtett legsűrűbb gömbelhelyezés



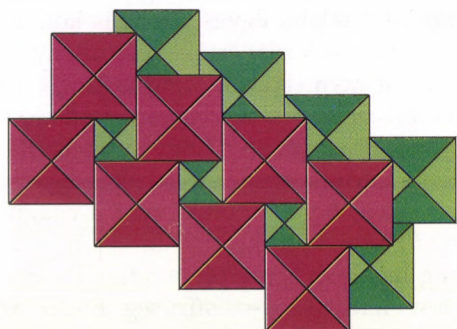
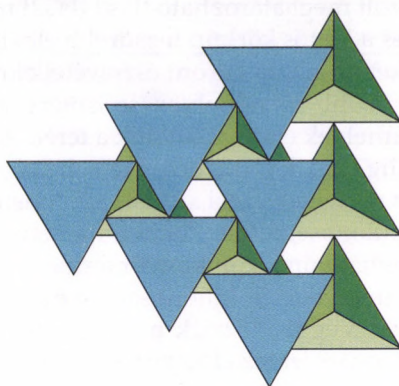
5. ábra.

Tetraéder legsűrűbb rácshelyezése



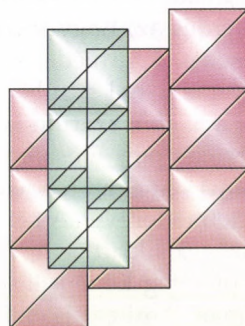
6. ábra.

Két réteg, amelyek eltoltjaiból áll az ismert legsűrűbb tetraéder-elhelyezés



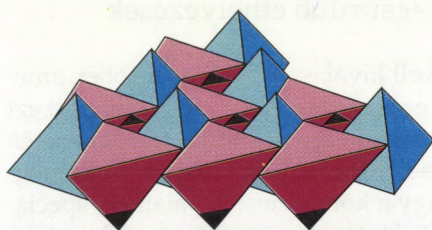
7. ábra.

Négyzet alapú gúla elhelyezése, ami a sejtett legsűrűbb, az eltolt kúpokból álló elhelyezések között



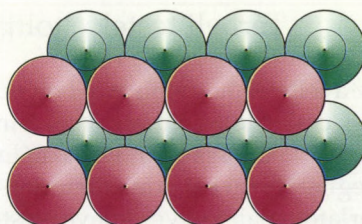
8. ábra.

Kettős körkúp legsűrűbb rácselhelyezése



9. ábra.

Tetraéder sejtett legsűrűbb kettős rácselhelyezése



10. ábra.

Körkúp sejtett legsűrűbb rácselhelyezése

(Whitworth, 1948) a kettős körkúp (Withwort, 1951) legsűrűbb rácselhelyezése volt meghatározható (lásd [FG2] referenciáit.). Az 5. és 8. ábra mutatja a tetraéder és a kettős körkúp legsűrűbb elhelyezését. Eltekintve azoktól a testektől, amelyeket az alábbi három észrevétellel nyerünk, csak ezek azok a testek, amelyek legsűrűbb rácselhelyezése ismert. Először is ismert az összes konvex poliéder, amelyek eltoltjai kitöltik a teret. Az is bebizonyítható, hogy ilyen testeknek mindig létezik rácsszerű, a teret hézagtalanul kitöltő elhelyezése, azaz ezen testeknek a rácselhelyezési sűrűsége 1. Másrészt tudjuk, hogy több testnek lehet ugyanaz a különbségtestje. Például minden állandó szélességű test különbségtestje gömb. Tehát mindazon konvex testnek, aminek a különbségtestje azonos a fenti lista valamelyikének különbségtestjével, ismertnek tekinthető a rácselhelyezési sűrűsége. Végül idézzük még egyszer C. A. Rogers egy eredményét: ha egy adott konvex lemez elhelyezései közül csak azokra szorítkozunk, amelyben csak eltolt példányokat engedünk meg, akkor a legnagyobb sűrűség rácsszerű elhelyezéssel megvalósítható. Ez azt jelenti, ha ismerjük egy konvex lemez rácselhelyezési sűrűségét, akkor ismerjük a fölé épített prizma rácselhelyezési sűrűségét is. Természetes kérdés az, hogy lehet-e jó sűrűségkorlátot találni egyes speciális konvex testek esetén. A tetraéder esetén minden $\frac{2}{3}$ -hoz közeli korlát értékes eredmény lehet, ugyanis $\frac{2}{3}$ -nál sűrűbb tetraéder-elhelyezést nem sikerült találnunk. A $\frac{2}{3}$ -os sűrűség a 6. ábra szerinti két réteg egymás fölé helyezett példányaiból áll elő a következőképpen. Először a két réteget úgy kell elhelyeznünk, hogy minden világos színnel színezett tetraéder teljes lap mentén érintkezzenek a másik réteg egy világos tetraéderével. A két réteg egyesítését *duplarétegnek* fogjuk hívni, a világos háromszögek síkjait pedig *középsíknak*. Könnyű látni, hogy két diszjunkt párhuzamos duplaréteg középsíkjai közötti távolság legalább $\frac{4}{3}$ -szere a tetraéder magasságának. Ami azt jelenti, hogy ily módon elérhető a $\frac{2}{3}$ -os sűrűség. Ebben az elrendezésben négy különböző helyzetű tetraédernek az eltoltjai szerepelnek. Összehasonlításként jegyezzük meg, hogy tetraéder sejtett legsűrűbb kettősrács-elhelyezésének (9. ábra) a sűrűsége $\frac{16}{27} = 0,59\dots$

Térbeli testek eltoltjaiból álló legsűrűbb elhelyezések

Az a feltétel, hogy olyan elhelyezések közül kell kiválasztani a legsűrűbbet, amelyek csak eltolt példányokból állnak, nagyon erős megszorítás, mégse sikerült ezt nagy általánosságban kihasználni és további testek, így például tetraéder esetén meghatározni ezt a maximumot. Természetes kérdés az, hogy lehet-e jó sűrűségkorlátot találni egyes konvex testek esetén vagy a konvex testek valamely speciális osztálya esetén. Ez az osztály lehet a centrálszimmetrikus testek, véges prizmák, kúpok stb. osztálya. W. Kuperberggel közösen a kúpok (egy konvex lemez és egy külső pont konvex burka) elhelyezéseit vizsgáltuk.

Az alábbiakban C mindig olyan kúpot jelöl, amelynek alaplapja centrálszimmetrikus konvex lemez. Jelöljük $\delta_r(C)$ -vel a C eltoltjaiból álló elhelyezések sűrűségeinek a maximumát, $\delta_L(C)$ -vel pedig C rácselhelyezési sűrűségét. Először

megmutatjuk, hogy $\delta_L(C) \leq \delta_T(C) < \frac{4}{7} = 0,57\dots$ Könnyű látni, hogy $\frac{1}{2}(C - C)$ kicsinyített különbségtest térfogata $\frac{4}{7}$ -szerese C térfogatának. Mivel egy kúp különbségteste nem töltheti ki a teret hézagtalanul, a felső korlát azonnal adódik.

Ha N egy négyzet alapú gúla, akkor $0,533\dots = \frac{8}{15} \leq \delta_L(N) \leq \delta_T(N) < \frac{4}{7} = 0,57\dots$ A felső korlát a kör alapú kúpba írható legnagyobb térfogatú ellipszoid térfogatának a becsléséből és Gauss korábban már említett legsűrűbb rácsszerű gömbelhelyezésre vonatkozó tételéből következik. Az alsó korlát pedig a 10. ábra szerinti elhelyezés sűrűsége.

A 7. és 10. ábrákon levő elhelyezések mindegyike rács. Mégpedig úgy, hogy azok a síkmetszetek, amelyek tartalmazzák valamelyik kúp alaplapját, maguk két egyforma rács egyesítései (pontosabban az egyik az alaplap eltoltjaiból, a másik fele akkora példányok eltoltjaiból áll). Ilyen típusú elhelyezés bármely más kúppal is készíthető. Konkrétan megmutatható, hogy minden centrálszimmetrikus hatszög alapú kúpnak van ilyen típusú legalább $\frac{1}{2}$ sűrűségű elhelyezése. K. Tammella egy tétele azt mondja, hogy minden egységterületű centrálszimmetrikus lemez befoglalható egy legalább $1/0,892$ területű centrálszimmetrikus hatszögbe. Ez tehát azonnal adja a legelőször említett egyenlőtlenség párját, azaz az általános $0,466\dots < \delta_L(K)$ alsó korlátot.

Irodalom

- [B1] Bezdek, A. and Kertész, G.: Counter Examples to a Packing Problem of L. Fejes Tóth. In: *Colloquia Mathematica Societas János Bolyai, Intuitive Geometry*, North Holland (editet by G. Fejes Tóth) 48 (1985), 317–349.
- [B2] Bezdek, A.: A remark on the packing density in the 3-space. In: *Colloquia Mathematica Societas János Bolyai, Intuitive Geometry*, North Holland (edited by G. Fejes Tóth) 63(1994), 17–22.
- [Be1] Bezdek, K.: Isoperimetric inequalities and the dodecahedral conjecture. *International Journal of Mathematics*, Vol. 8, No. 6 (1997), 759–780.
- [Be2] Bezdek, K.: A Lower Bound for the Surface Area of Voronoi Cells in Unit Ball Packings of E^d . *Mathematika* (submitted), 1–12.
- [BK1] Bezdek, A. and Kuperberg, W.: Maximum Density Space Packing with Congruent Circular Cylinders of Infinite Length. *Mathematika*, 37 (1990), 74–80.
- [BK2] Bezdek, A. and Kuperberg, W.: Packing Euclidean Space with Congruent Cylinders and with Congruent Ellipsoids. *Applied Geometry and Discrete Mathematics, Honorary volume on the occasion of V. Klee's 65th birthday*. DIMACS 4 (1991), 71–80.
- [FG1] Fejes Tóth, G.: New Results in the Theory of Packing and Covering. In: *Convexity and its Applications*. J. Pach E., Birkhäuser Verl. Basel/Boston/Stuttgart, 1983, 318–359.
- [FK1] Fejes Tóth, G. and Kuperberg, W.: A Survey of Recent Results in the Theory of Packing and Covering. Chapter X in *New Trends in Discrete and Computational Geometry*, J. Pach, Ed., Springer, 1993, 251–279.
- [FK2] Fejes Tóth, G. and Kuperberg, W.: Packing and Covering with Convex sets. Chapter 3.3 in *Handbook of Convex Geometry*, P. Gruber and J. Wills, Eds., North-Holland 1993, vol. B, 799–860.
- [FL3] Fejes Tóth, L.: *Lagerungen in der Ebene, auf der Kugel und im Raum*. Springer Verl., Berlin/Heidelberg/New York, 1972.
- [Gro] Groemer, H.: Existenzsätze für Lagerungen im Euklidischen Raum. *Math. Zeitschr.*, 81 (1963), 260–278.
- [Hs] Hsiang, W.-Y.: On the Sphere Packing Problem and the Proof of Kepler's conjecture. *International J. Math.*, 4 (1993), 739–831.
- [Ke] Kershner, R.: The Number of Circles Covering a Set. *Amer. J. Math.*, 61 (1939), 665–671.

- [Pa1] Pach, J.: *New Trends in Computational Geometry*. Springer Verl., Berlin/Heidelberg/New York, 1993.
- [Pa2] Pach, J. and Agarwal, P.: *Combinatorial Geometry*. New York, Wiley, 1995.
- [Ro1] Rogers, C. A.: *Packing and Covering*. Cambridge Univ. Press Tracts 54, Cambridge, 1964.
- [Ro2] Rogers, C. A.: The Closest Packing of Convex Two-dimensional Domains. *Acta Math.* 86 (1951), 309–321.
- [Th1] Thue, A.: Om nogle geometrisk talteoretiske theoremer. *Forhdl. Skand. Naturforsk.*, 14 (1892), 352–353.

Konvex testekhez hozzárendelt testek

§0 Definíciók

1. definíció Egy $K \subset \mathbb{R}^d$ ($= d$ -dimenziós euklideszi tér) részhalmaza konvex test, ha konvex, kompakt, és belseje, $\text{int}K$ nem üres.

2. definíció A) (Lutwak) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test, és 0 , az origó legyen $\text{int}K$ -ban. Ekkor legyen $M(K) (= K \text{ metszet teste})$ a $\{\lambda u \mid u \in S^{d-1}, 0 \leq \lambda \leq V_{d-1}(K \cap u^\perp)\}$ halmaz, ahol S^{d-1} a 0 körüli egységgömb felszíne, V_{d-1} a $(d-1)$ -térfogatot jelöli, és u^\perp a 0 -n áthaladó, u -ra ortogonális hipersík. (Azaz $M(K)$ az a 0 körüli csillagtartomány, amelynek határpontjait úgy kapjuk, hogy az u irányba felmérjük K -nak az u -ra ortogonális lineáris altérrel való metszetének $(d-1)$ -térfogatát.)

B) (Martini) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test. Ekkor legyen $M_{\max}(K) (= K \text{ maximális metszet teste})$ a $\{\lambda u \mid u \in S^{d-1}, 0 \leq \lambda \leq \max_{x \in \mathbb{R}^d} V_{d-1}(K \cap (u^\perp + x))\}$ halmaz. (Azaz $M_{\max}(K)$ az a 0 körüli csillagtartomány, amelynek határpontjait úgy kapjuk, hogy az u irányba felmérjük K -nak az u -ra ortogonális affin alterekkel való legnagyobb $(d-1)$ -térfogatú metszetének $(d-1)$ -térfogatát. Megjegyezzük, hogy ennek részben fizikai motivációja is van: a fémek ún. Fermi-felületének könnyű megmérni az M_{\max} testjét. A Fermi-felület a fémrácsban levő szabad elektronok alkotta „elektrográz” által a sebességtérben elfoglalt térrész határa, elvben 0 Kelvin-fokon. Ekkor az elektronok együttes energiaminimumra törekednek, de a Pauli kizárási elv miatt egy helyet csak egy elektron foglalhat el a sebességtérben, így egy gömbhöz többé-kevésbé hasonló térrész jön létre. Mivel a fémkristályok nem lehetnek gömbszimmetrikusak, a Fermi-felületek sem lesznek gömb alakúak.)

C) (Minkowski) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test. Ekkor legyen $P(K) (= K \text{ projekcióteste})$ a $\bigcap_{u \in S^{d-1}} \{x \in \mathbb{R}^d \mid |\langle x, u \rangle| \leq V_{d-1}(\text{proj}_{u^\perp} K)\}$ halmaz, ami persze konvex test, ahol $\langle x, u \rangle$ az x és u vektorok skaláris szorzata, és proj_{u^\perp} az u^\perp -ra való ortogonális projekciót jelöli. (Azaz $P(K)$ olyan párhuzamos síksávok metszete, amelyek határoló síkjai olyan távolságra vannak 0 -tól, mint K -nak u^\perp -ra vett ortogonális projekciójának $(d-1)$ -térfogata.) Továbbá $P(K)$ -nak a definícióbeli előállítása párhuzamos síksávok metszeteként pontos abban az értelemben, hogy

egyetlen fenti síksávot sem lehet kisebbel helyettesíteni anélkül, hogy a met-szetük kisebbé ne válna.

Példa. (Croft) Legyen $d = 2$, és K egy 2 élű szabályos háromszög, 0 közép-ponttal és egy vízszintes oldallal. Ekkor $M(K)$ egy vízszintes oldallal rendelkező, $\sqrt{3}$ oldalú szabályos hatszögből származik oly módon, hogy annak csúcsait meg-tartjuk, míg oldalait a végpontjaik megtartásával úgy deformáljuk, hogy hat konkáv hiperbolaív által határolt, 0 körüli csillagtartományt kapunk. Továbbá $M_{\max}(K)$ és $P(K)$ ekkor egybeesnek, és megegyeznek egy olyan 2 élű szabályos hat-szöggel, amelynek van egy függőleges oldala, és amelynek oldalközéppontjai $M(K)$ csúcsai. (Vegyük észre, hogy K -nak bármilyen irányú maximális húrja K -nak egy csúcsán halad át, és K -nak bármilyen egyenesre való vetülete meg-egyezik K valamelyik oldalának az egyenesre való vetületével!)

§1 Milyenek ezek a testek?

1. tétel A) (Bolker) $\{P(K) \mid K \subset \mathbb{R}^d \text{ konvex test}\}$ halmaz megegyezik azon d -dimenziós lineáris normált terek egységsgömbjeinek halmazával, amelyeknek duális tere izometrikus altere az $L^1[0,1]$ térnek.

B) (Croft) $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex testre $M(K)$ általában nem konvex, de

(Busemann) ha $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test 0-ra szimmetrikus, akkor $M(K) = M_{\max}(K)$ konvex [és a K egységsgömbű lineáris normált térben az izoperimetrikus probléma megoldásának polárisa, ahol a térfogat a d -dimenziós Lebesgue-mérték, és a felszín a bármilyen metrikus térben legtermészetesebb módon értelmezett $(d-1)$ -Hausdorff-mérték].

C) (Brehm–Meyer) Legyen $d \geq 2$ egész szám. Ekkor pontosan akkor lesz minden $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test esetére $M_{\max}(K)$ konvex, ha $d \leq 3$.

§2 Milyen relációk vannak ezek között a testek között?

2. tétel (Petty–Martini) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test, és legyen $0 \in \text{int}K$. Ekkor $M(K) \subset M_{\max}(K) \subset P(K)$;

($d = 2$ -re Hammer, $d \geq 3$ -ra Makai–Martini–Ódor) az első tartalmazásban egyenlőség pontosan akkor áll, ha K 0-ra szimmetrikus;

(Martini) a második tartalmazásban egyenlőség pontosan akkor áll, ha $d \leq 2$ vagy K ellipszoid.

§3 Egyedi K testekre javíthatók-e a fenti tartalmazási relációk?

3. tétel A) (Gardner–Martini) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test, és legyen $0 \in \text{int}K$. Ekkor $bdM(K) \cap bdM_{\max}(K) \neq \emptyset$, ahol bdX egy X halmaz határát jelöli. Azaz, létezik $u \in S^{d-1}$, amelyre minden $x \in \mathbb{R}^d$ esetén fennáll $V_{d-1}(K \cap u^\perp) \geq V_{d-1}(K \cap (u^\perp + x))$.

Példa Ha K gömb, amelynek középpontja $c \neq 0$, akkor a fenti egyenlőtlenség nemcsak egyetlen $u \in S^{d-1}$ -re áll fenn minden $x \in \mathbb{R}^d$ esetén, hanem $S^{d-1} \cap c^\perp$ minden u pontjára, amely halmaz egy fő- S^{d-2} az S^{d-1} -en.

Sejtés A tételben fent említett maximalitási tulajdonságú $u \in S^{d-1}$ -ek halmazának Hausdorff-dimenziója legalább $d-2$, és $(d-2)$ -Hausdorff-mértéke legalább $V_{d-2}(S^{d-2})$.

A') (Makai–Martini) A fenti sejtés egy gyengébb formában igaz, sőt, $(d-1)$ -dimenziós metszetek helyett m -dimenziós metszetekre fennáll

A'') ($m = 1$ -re Hammer, $m \geq 2$ -re Makai–Martini) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test, és legyen $1 \leq m \leq d-1$ egész szám. Ekkor létezik $L_m \subset \mathbb{R}^d$ lineáris m -altér, amelyre minden $x \in \mathbb{R}^d$ esetén fennáll $V_m(K \cap L_m) \geq V_m(K \cap (L_m + x))$, ahol $V_m(X)$ jelöli egy m -dimenziós affin altérben fekvő halmaz m -dimenziós Lebesgue-mértékét. Továbbá az itt említett maximalitási tulajdonságú L_m lineáris alterek halmaza nemcsak hogy nem üres, hanem a fentihez hasonló értelemben elég nagy halmazt alkotnak (a Hausdorff-dimenzióval kapcsolatban).

B) (Makai–Martini) Legyen $d \geq 3$ egész szám. Ekkor „majdnem minden” $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex testre fennáll $M_{\max}(K) \subset \text{int}P(K)$ (pontosabban ez fennáll konvex testeknek a Hausdorff-metrika szerint egy sűrű nyílt halmazán).

Emlékeztetünk rá, hogy a 2. tétel szerint $d \leq 2$ esetén $M_{\max}(K) = P(K)$.

Továbbá a 2. tételben szereplő ellipszoid karakterizáció ($d \geq 3$ -ra), mármint hogy $M_{\max}(K) = P(K)$, és majdnem minden konvex testnek ettől teljesen eltérő viselkedése, mármint hogy $M_{\max}(K) \subset \text{int}P(K)$, kapcsolatban van a következő tétellel (sőt a 3. tétel **B)** részének bizonyítása többé-kevésbé az alábbi tételtől következik).

Tétel. A) (Blaschke) Legyen $d \geq 3$ egész szám. Ekkor egy $d \geq 3$ dimenziós lineáris normált tér egységgömbje ellipszoid pontosan akkor, ha minden $((d-1)$ -dimenziós) lineáris altérre létezik P lineáris projekció az altérre (azaz $P^2 = P$, és a P képtere az adott altér), amely kontrakció. (Mint az euklideszi térben az ortogonális projekció.)

B) (Gruber) Az \mathbb{R}^d térben „majdnem minden” normára semmilyen $2 \leq m \leq d-1$ dimenziós lineáris altérre sincs kontraktív lineáris projekció.

§4 Vannak-e fordított irányú tartalmazások ezen testek konstansszorosai között?

Példa. Legyen $K \subset \mathbb{R}^2$ egy 2 élű szabályos háromszög, amelynek van egy vízszintes oldala, és amelyre $0 \in \text{int}K$, de 0 nagyon közel van K -nak a vízszintes oldalával szemközti csúcsához. Ekkor $u \in S^1$ függőleges vektor esetén tetszőleges rögzített pozitív ε esetén lehetséges $V_{d-1}(K \cap u^\perp) < \varepsilon \cdot \max_{x \in \mathbb{R}^d} V_{d-1}(K \cap (u^\perp + x))$, azaz $M_{\max}(K) \not\subset \varepsilon^{-1} \cdot M(K)$.

4. tétel A) (Makai–Martini) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test. Ekkor létezik egy $c \in \text{int}K$ pont, amelyre fennáll

$$M_{\max}(K) \subset \left(\frac{d+1}{d} \right)^{d-1} \cdot M(K-c),$$

azaz minden $u \in S^{d-1}$ -re fennáll

$$\max_{x \in \mathbb{R}^d} V_{d-1}(K \cap (u^\perp + x)) \leq \left(\frac{d+1}{d} \right)^{d-1} \cdot V_{d-1}(K \cap (u^\perp + c)).$$

Továbbá ez az egyenlőtlenség éles, pl. K egy szabályos szimplex esetén, amikor c a súlypont, $u \in S^{d-1}$ egy hiperlaphoz tartozó magasság irányába mutató vektor, és a maximális $(d-1)$ -térfogatú, u -ra ortogonális hipersíkkal való metszet a tekintett hiperlap. Sőt $(d-1)$ -dimenziós metszetek helyett m -dimenziós metszetekre fennáll az alábbi általánosabb

A') (Fradelizi) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test, és legyen $1 \leq m \leq d-1$ egész szám. Legyen továbbá c a K test súlypontja. Ekkor minden $L_m \subset \mathbb{R}^d$ lineáris m -altérre fennáll

$$\max_{x \in \mathbb{R}^d} V_m(K \cap (L_m + x)) \leq \left(\frac{d+1}{m+1} \right)^m \cdot V_m(K \cap (L_m + c)).$$

Továbbá ez az általánosabb egyenlőtlenség is éles, szintén pl. K egy szabályos szimplex esetén, amikor L_m K -nak egy m -lapjával párhuzamos, és a maximális m -térfogatú, vele párhuzamos metszet K -nak a tekintett m -lapja.

B) (Makai–Martini) Legyen $K \subset \mathbb{R}^d$ konvex test. Ekkor

$$P(K) \subset [2\pi d(1+o(1))]^{d/2} \cdot M_{\max}(K),$$

ahol a o jel $d \rightarrow \infty$ -re értendő.

B') (Makai–Martini) A **B)** állításnak szintén van $1 \leq m \leq d-1$ dimenziós projekciókra, és a párhuzamos affin m -síkokkal való metszetek között a maximális m -térfogatúakra vonatkozó általánosítása. (K -nak, ill. alkalmas m -metszetének alkalmas m -altérre való projekciói térfogatainak összehasonlítása, pontosabban, hogy a második szám nem lehet sokkal kisebb az elsőnél.)

Irodalom

(Az alábbiakban csak a szerzőnek a fenti előadással kapcsolatos publikációit adjuk meg amelyek viszont bőséges további utalásokat tartalmaznak.)

- (1) E. Makai, Jr., H. Martini: The cross-section body, plane sections of convex bodies, and approximation of convex bodies. I. *Geom. Ded.*, 63 (1996), 267–296.
 - (2) E. Makai, Jr., H. Martini: The cross-section body, plane sections of convex bodies, and approximation of convex bodies. II. *Geom. Ded.*, közlésre elfogadva.
 - (3) E. Makai, Jr., H. Martini: On bodies associated with a given convex body. *Canad. Math. Bull.*, 39 (1996), 448–459.
 - (4) E. Makai, Jr., H. Martini, T. Ódor: Maximal sections and centrally symmetric bodies. Előkészületben.
 - (5) E. Makai, Jr., H. Martini, előkészületben.
- MTA Matematikai Kutató Intézete, H-1364, pf. 127

Sík mezőben hármas út

A rajzolás az egyik legősibb emberi tevékenység. Elődeink még barlangfalra rajzolták ábráikat („gráfjaikat”), ma inkább a számítógép képernyőjét használjuk erre a célra. Matematikai szempontból nincs különbség: mindkét felület „sík mező”. A későbbiekben a „hármas utak” szerepére is fény derül. De ne vágjunk a dolgok elébe!

1. Kereszteződések – a téglagyári probléma

Minden gráf csúcsokból és élekből áll. Egy G gráf csúcshalmaza egy tetszőleges véges $V(G)$ halmaz, élhalmaza pedig egy $V(G)$ rendezetlen páraiból álló $E(G)$ halmaz. G gráf lerajzolásán G egy olyan reprezentációját értjük, amelyben minden csúcst a sík egy pontja ábrázol, az éleket pedig olyan önmagukat nem metsző, folytonos görbeívek, melyek a megfelelő pontpárokat kötik össze. Az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy az ilyen lerajzolásokban (a) egyetlen él sem halad át semelyik (végpontjaitól különböző) csúcson; (b) nincs két olyan él, melyek érintik egymást (vagyis ha két élnek van közös belső pontja, akkor ebben a pontban keresztezik egymást); és (c) minden pontban legfeljebb két él keresztezi egymást. Ha egy G gráfban nincs páratlan hosszúságú kör, akkor azt mondjuk, hogy G páros gráf.

Minden gráf sokféleképpen rajzolható le. Ha egy G gráf lerajzolható úgy, hogy semelyik két éle se keresztezze egymást, akkor azt mondjuk, hogy G síkgráf. Fáry István [11] egy észrevétele szerint ha egy gráf síkgráf, akkor úgy is lerajzolható, hogy éleit egyenes szakaszok reprezentálják.

Nem minden gráf síkgráf. Könnyű ellenőrizni például, hogy $n \geq 5$ esetén a K_n -nel jelölt úgynevezett teljes gráf, amely n csúcsból és az őket összekötő összes $\binom{n}{2}$ lehetséges élből áll, nem síkgráf. Szintén nem síkgráf semmilyen $n, m \geq 3$ esetén $K_{n,m}$ egy teljes páros gráf, melynek csúcshalmaza egy n -elemű és egy m -elemű részhalmazból áll, és az első részhalmaz összes pontjából él vezet a második rész-

halmaz összes pontjába. Ha egy G gráf nem síkgráf, akkor nyilván nem síkgráf egyetlen olyan gráf sem, amely G -ből úgy keletkezik, hogy éleit közös belső pont nélküli utakkal helyettesítjük. Ugyancsak nem lehetnek síkgráfok azok a gráfok, melyeknek valamilyen részgráfja nem síkgráf. Kuratowski egy nevezetes tétele szerint ezzel fel is soroltuk az összes olyan gráfot, amely nem síkgráf. A következő szakaszban a síkgráfokat egészen másképpen jellemezzük majd (I. 2.3 tétel).

Ha egy gráf nem síkgráf, akkor – definíció szerint – nem rajzolható le keresztezések nélkül. Turán Pál [38] vetette fel a kérdést: hogyan kell lerajzolni egy G gráfot, hogy a keresztezések száma a lehető legkisebb legyen? Ezt a számot G keresztezési számának hívjuk, és $CR(G)$ -vel jelöljük. Pontosabban szólva, Turán – máig megoldatlan – problémája úgy szól, hogy minden $n, m \geq 3$ számpárra határozzuk meg $CR(K_{n,m})$ -et. Zarankiewicz egy (tételből sejtéssé visszavedett [14]) állítása szerint

$$CR(K_{n,m}) = \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{m-1}{2} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor,$$

de még a

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{CR(K_{n,n})}{n^2}, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{CR(K_n)}{n^4}$$

határértékeket sem ismerjük [34], [20].

Turán Pál általában „téglagyári problémának” titulálta a fenti kérdést, amely akkor fogalmazódott meg benne, amikor munkaszolgálatosként téglával megrakott vasúti vagonokat tologatott társaival egy gyárudvaron az égetőkemencéktől a raktáépületekig. Visszaemlékezései szerint a legnagyobb gondot mindig a sínek keresztezéseinél tapasztalt zökkenők okozták. De nem foglalkoztak volna $CR(G)$ becslésével annyian az elmúlt negyedszázad során, ha ez lett volna a kérdés egyetlen „gyakorlati alkalmazása”. A hetvenes évek elején – jórészt Tom Leighton [22] munkássága nyomán – kiderült, hogy egy elektromos hálózat nyomtatott áramkörön vagy szilikonlapocskán való megépítésének bonyolultsága szoros kapcsolatban áll azzal, hogy mekkora a megfelelő gráf keresztezési száma. Ez nagy lendületet adott a témakör kutatásának.

2. Kötések – Conway sejtése

Egy gráf lerajzolását *kötésnek* nevezzük, ha bármely két nem egy csúcsból kiinduló éle pontosan egyszer keresztezi egymást, az egy csúcsból kiinduló élek pedig másutt nem találkoznak.

Könnyű ellenőrizni, hogy pl. egy 4-hosszúságú kör (C_4) nem rajzolható le kötésként, viszont minden más kör igen [41]. Ha egy G gráf nem rajzolható le kötésként, akkor az olyan gráfok sem, amelyek G -t részgráfként tartalmazzák. Következésképp semmilyen kötés nem tartalmazhat 4-hosszúságú kört, tehát – Erdős Pál régi, extrémális gráfelméleti tétele értelmében – G -nek legfeljebb $n^{3/2}$ éle lehet, ahol n jelöli G csúcsainak számát. Ennél jóval erősebb a következő régi

Sejtés (J. Conway): Minden kötésnek legfeljebb annyi éle van, ahány csúcsa.

A kötések élszámára az első n -ben lineáris korlátot Lovásszal és Szegedyvel [23] közösen találtuk.

2.1 tétel ([23]): Minden kötésnek legfeljebb kétszer annyi éle van, ahány csúcsa.

A kötés és a síkgráf bizonyos értelemben ellentétes fogalmak: az egyikben bármely két él metszi egymást, a másikban nincs metsző élpár. A következő tétel mutatja, hogy a két fogalom mégis milyen közel áll egymáshoz.

Egy gráf lerajzolását *páratlan kötésnek* nevezzük, ha bármely két éle páratlan sokszor metszi egymást. Ha két él ugyanabból a pontból indul ki, akkor itt ezt a pontot is a két él metszéspontjának tekintjük. Nyilvánvaló, hogy minden kötés páratlan kötés, de ennek fordítottja nem igaz. A 4-hosszúságú kör például kötésként nem rajzolható le, de páratlan kötésként igen.

2.2 tétel ([23]): Egy páros gráf akkor és csak akkor rajzolható le páratlan kötésként, ha síkgráf.

Erdős egy régi észrevétele szerint minden gráfnak van olyan páros részgráfja, amely az élek legalább felét tartalmazza. Ugyanakkor közismert, hogy minden n -csúcsú páros síkgráfnak legfeljebb $2n-4$ éle lehet. Ezért a 2.2 tételből azonnal következik az a 2.1 tételnél kissé gyengébb állítás, hogy egy n -csúcsú kötésnek maximum $2(2n-4) = 4n-8$ éle lehet ($n \geq 3$).

Egy gráf lerajolásában *hármas útnak* nevezünk minden olyan $(P_1(u, v), P_2(u, v), P_3(u, v))$ úthármas, melynek tagjai ugyanazon (u, v) pontpárt összekötő, más közös csúccsal nem rendelkező utak (melyek a csúcsoktól különböző helyeken persze még metszhetik egymást). Egy $(P_1(u, v), P_2(u, v), P_3(u, v))$ hármas útról azt mondjuk, hogy *fordító*, ha P_1, P_2 és P_3 kezdő szakaszainak u körüli ciklikus sorrendje ellentétes ugyanezen utak végső szakaszainak v körüli ciklikus sorrendjével.

2.3 tétel ([23]): Egy G gráf akkor és csak akkor síkgráf, ha lerajzolható úgy, hogy minden hármas útja fordító legyen.

Az állítás egyik fele triviális: amennyiben G síkgráf, akkor lerajzolható úgy, hogy élei ne keresszezzék egymást, és ebben a lerajolásban nyilvánvalóan minden hármas út fordító. Az állítás másik fele Kuratowski az előző szakaszban már említett tételének segítségével igazolható.

A 2.1 tételben szereplő kettes faktort G. Cairns és Y. Nikolayevsky [7] nemrég másfélre javította.

3. Más keresztezési számok?

Amint azt a 2.3 tétel is mutatja, a gráfok éleinek kereszteződéseivel kapcsolatos feladatoknál természetes módon merülnek fel párossági (paritási) kérdések. Ennek oka részben abban a banális tényben rejlik, hogy ha elindulunk egy egyszerű (önmagát nem metsző), zárt síkgörbe belsejéből, akkor aszerint találjuk magun-

kat a görbe belsejében vagy külsejében, hogy azt páros vagy páratlan sokszor metszettük.

A következőkben definiáljuk a keresztezési szám fogalmának három változatát.

(1) Egy G gráf *lineáris keresztezési száma*, $\text{LIN-CR}(G)$ az a legkisebb szám, ahány kereszteződéssel G lerajzolható úgy, hogy minden éle egyenes szakasz.

(2) G *páronkénti keresztezési száma*, $\text{PAIR-CR}(G)$ az a legkisebb szám, ahány metsző élpár lehet G legjobb lerajzolásában. Itt az éleket tetszőleges folytonos görbék reprezentálhatják, tehát két él többször metszheti egymást, de minden metsző élpár csak eggyel járul hozzá $\text{PAIR-CR}(G)$ értékéhez.

(3) G *páratlan keresztezési száma*, $\text{ODD-CR}(G)$ az a legkisebb szám, ahány olyan élpár lehet G legjobb lerajzolásában, melyek páratlan sokszor metszik egymást.

A definícióból azonnal következik, hogy

$$\text{ODD-CR}(G) \leq \text{PAIR-CR}(G) \leq \text{CR}(G) \leq \text{LIN-CR}(G).$$

Bienstocknak és Deannek [6] sikerült olyan gráfokat konstruálnia, melyek keresztezési száma 4, de lineáris keresztezési számuk tetszőlegesen nagy lehet. Az viszont lehetséges, hogy bármely G gráfra

$$\text{ODD-CR}(G) = \text{PAIR-CR}(G) = \text{CR}(G).$$

Mivel a páratlan keresztezési szám meghatározása átfogalmazható egy tisztán kombinatorikus feladattá, a fenti három keresztezési szám egybeesése szikrányi reményt adna arra, hogy viszonylag hatékonyan megbecsülhető $\text{CR}(G)$ értéke. Hanani (alias Chojnacki) [8] és William Tutte [39] egy figyelemre méltó tétele szerint ha egy G gráf lerajzolható úgy, hogy bármely két éle páros sokszor messe egymást, akkor G metszések nélkül is lerajzolható. Másszóval, ha $\text{ODD-CR}(G) = 0$, akkor $\text{CR}(G) = 0$. Megjegyezzük, hogy Fáry – az első szakaszban már idézett – észrevétele szerint ekkor az is igaz, hogy $\text{LIN-CR}(G) = 0$.

A probléma fő nehézsége abban rejlik, hogy egy gráf annyi lényegesen különböző módon rajzolható le, hogy még egy nagy teljesítményű számítógép számára is reménytelenül nehéz feladat egy kb. 15-csúcsú gráf bármelyik keresztezési számának meghatározása [10].

3.1 tétel [12], [31]: Egy gráf keresztezési számának, páronkénti keresztezési számának és páratlan keresztezési számának meghatározása egyaránt bonyolult, úgynevezett NP-teljes számítási feladat.

Egyelőre csak annyit tudunk belátni, hogy a 3.1 tételben szereplő keresztezési számok, $\text{CR}(G)$, $\text{PAIR-CR}(G)$ és $\text{ODD-CR}(G)$ értékei nem teljesen függetlenek egymástól.

3.2 tétel [31]: Bármely G gráfra

$$\text{CR}(G) \leq 2(\text{ODD-CR}(G))^2.$$

Ez utóbbi állítás bizonyítása a Hanani–Tutte tétel következő élesítésén alapul:

3.3 tétel [31]: Egy tetszőlegesen lerajzolt gráfot mindig újra lehet rajzolni úgy, hogy azok az élei, melyeket eredetileg minden más él páros sokszor metszett, ne vegyenek részt semmilyen metszésben.

[28]-ban az eredeti Hanani–Tutte-tételt alkalmazzuk egy a robotikában felvetődő kérdés megválaszolására [19].

4. Egyenes vonalú gráfok

Conway sejtését, melyet a második szakaszban részletesebben tárgyaltunk, H. Hopf és E. Pannwitz [15], ill. (tőlük függetlenül) Erdős Pál jóval a feladat kitűzése előtt igazolták „egyenes vonalú kötésekre”.

Az oly módon lerajzolt gráfokat, hogy az éleket egyenes szakaszok reprezentálják, *geometriai gráfoknak* hívjuk [24], [25], [26]. Két geometriai gráfot csak akkor tekintünk izomorfának (egyformának), ha a sík alkalmas mozgatásával fedésbe hozhatóak.

Hopf–Pannwitz–Erdős-tétel: *Ha egy geometriai gráf bármely két éle metszi egymást, akkor legfeljebb annyi éle lehet, ahány csúcsa.*

A geometriai gráfokra vonatkozó extrémális feladatok szisztematikus vizsgálatát S. Avital–H. Hanani [4], Erdős, Micha Perles és Yaakov Kupitz [21] kezdeményezték. Tőlük származik egyebek között a következő feladat: legfeljebb hány éle lehet egy n -csúcsú geometriai gráfnak, ha nincs benne k darab páronként diszjunkt él? (Itt „diszjunkt” azt értjük, hogy sem közös végpontjuk, sem metszéspontjuk nem lehet.) Jelöljük ezt a maximumot $e_k(n)$ -nel!

A fenti tétel úgy is fogalmazható, hogy minden $n \leq 2$ esetén $e_2(n) = n$. Noga Alon és Erdős [2] bebizonyították, hogy $e_3(n) \leq 6n$. Ezt a korlátot azóta a felére javították [13]. Hosszú ideig megválaszolatlan volt a kérdés, hogy $e_k(n)$ minden rögzített k -ra lineáris-e n -ben.

4.1 tétel [32]: Minden k -ra és n -re $e_k(n) \leq (k-1)^4 n$.

Ezt a becslést előbb Tóth Géza és Pavel Valtr [37] javította meg, majd Tóth Géza igazolta, hogy $e_k(n) \leq 100k^2 n$. Igen valószínűnek látszik, hogy tulajdonképpen $e_k(n)$ k -tól való függése is lineáris.

A fentiekkel teljesen analóg módon felvethető, hogy legfeljebb hány éle lehet egy n csúcsú geometriai gráfnak, ha nincs benne k páronként kereszteződő él. Jelöljük ezt a számot $f_k(n)$ -nel! Euler egy klasszikus formulájából azonnal adódik, hogy $n > 2$ esetén minden n -csúcsú síkgráfnak legfeljebb $3n - 6$ éle lehet. Ez úgy is fogalmazható, hogy $f_2(n) = 3n - 6$.

4.2 tétel [1]: $f_3(n) = 0(n)$.

4.3 tétel [27]: Minden rögzített $k > 3$ esetén $f_k(n) = 0(n \log^{2k-6} n)$.

Nemrég Valtrnak [40] sikerült belátnia, hogy minden rögzített $k > 3$ esetén $f_k(n) = 0(n \log n)$, de sejtetően $f_k(n) = 0(n)$. Az sem kizárt, hogy van egy olyan c konstans, hogy minden k -ra és n -re $f_k(n) \leq ckn$, de egyelőre még azt sem tudjuk eldönteni, hogy vajon minden teljes n -csúcsú geometriai gráf tartalmaz-e legalább konstansszor n páronként metsző élt. A legerősebb ilyen irányú eredmény a következő:

4.4 tétel [3]: Minden teljes n -csúcsú geometriai gráfban van legalább $\lfloor \sqrt{n/12} \rfloor$ páronként metsző él.

Egy a közelmúltban született cikksorozatunkban [16], [17], [18] geometriai gráfokra vonatkozó, ún. Ramsey típusú tételeket bizonyítottunk, melyek szorosan kapcsolódnak e szakasz témájához, [9]-ben pedig a fenti eredményeket általánosítottuk *geometriai hipergráfokra* (szimplexrendszerekre).

5. Egy számítógépes grafikai alkalmazás

Nagy öröm egy matematikus számára, ha kutatásai némi érdeklődést váltanak ki szakterületének berkein kívül is. Még különlegesebb érzés, ha eredményeit más tudományokban – vagy nagy ritkán a gyakorlatban – hasznosítják.

Az elmúlt húsz évben a kombinatorikus geometereknek viszonylag gyakran lehetett részük ebben a felemelő élményben. A gyártási feladatok automatizálása a *robotika* forradalmához vezetett, ami olyan matematikai kérdések tömkelegét hozta felszínre, melyek megoldása új kombinatorikus geometriai módszereket igényelt [35]. Hasonló hatással volt a témakör fejlődésére a *számítógépes grafika*, melyet a tervező mérnököktől a filmgyártókig szinte mindenki használ, akinek komputerrel van dolga [5].

Befejezésül röviden vázolunk egy olyan matematikai eredményt, amely viszonylag közvetlenül alkalmazható a komputeres grafikában. Ma már majdnem minden forgalomban lévő grafikai programcsomagban vannak olyan (ún. *warping* vagy *morphing*) programok, amelyek alkalmasak ábrák, képek deformálására. Ezen programok jó részét eredetileg az animációs és reklámfilmek készítői számára írták, de a felhasználók köre azóta jelentősen bővült.

Az ilyen típusú programokban általában az egyik fontos lépés, hogy rögzítjük a kiindulási ábra (mondjuk, egy egyenes szakaszokkal rajzolt síkgráf) néhány alappontját (csúcsát), majd kijelöljük a síkon ezen pontok új helyét. Szeretnénk a gráfot úgy lerajzolni, hogy élei továbbra se messék egymást. Általában nem követelhető meg, hogy az éleket ebben a lerajzolásban is szakaszok reprezentálják, mert többnyire nincs olyan rajz, ami ennek a feltételnek is eleget tesz. Célunk az, hogy az éleket egymást nem keresztező töröttvonalakkal ábrázoljuk, és lehetőleg kevés töréspontot vezessünk be. Programunk bonyolultsága és futásideje egyenesen arányos a bevezetett töréspontok számával.

5.1 tétel [31]: Minden n -csúcsú síkgráf újrarajzolható úgy, hogy csúcspontjainak új helyét tetszőlegesen rögzítjük, és minden élet egy legfeljebb $2n$ szakaszból álló töröttvonal reprezentálja. Egy ilyen rajz egy konstansszor n^2 futásidejű algoritmussal megszerkeszthető.

A következő állítás mutatja, hogy a fenti tétel lényegesen nem javítható.

5.2 tétel [33]: Minden n -re van olyan n -csúcsú G_n síkgráf, melyre kijelölhető a csúcspontok új helye úgy, hogy G_n minden töröttvonalú lerajzolásában legalább $n/100$ olyan él legyen, amely legalább $n/100$ szakaszból áll.

E tétel bizonyítása egy Leighton [22] által felfedezett (és [27]-ben kissé továbbfejlesztett) állításon alapul, amely rendkívül hasznosnak bizonyult számos más – gráfok beágyazásaival kapcsolatos – extrémális és algoritmikus feladat megoldásában.

Egy gráf egy csúcsának *fokán* a benne található élek számát értjük. Egy gráf *kettévágási száma* az a legkisebb egész, ahány él elhagyásával a gráf két olyan darabra esik szét, melyek között nem fut él, és a nagyobbik darab legfeljebb kétszer annyi csúcsból áll, mint a másik.

5.3 tétel [22], [27]: Legyen G egy n -csúcsú gráf, melynek keresztezési száma $CR(G)$, és csúcsainak foka d_1, d_2, \dots, d_n . Ekkor G kettévágási száma legfeljebb

$$1,58 \sqrt{16CR(G) + \sum_{i=1}^n d_i^2}.$$

Irodalom

- [1] P. Agarwal, B. Aronov, J. Pach, R. Pollack, M. Sharir: Quasi-planar graphs have a linear number of edges. *Combinatorica*, 17 (1997), 1–9.
- [2] N. Alon, P. Erdős: Disjoint edges in geometric graphs. *Discrete and Computational Geometry*, 4 (1989), 287–290.
- [3] B. Aronov, P. Erdős, W. Goddard, D. J. Kleitman, M. Klugerman, J. Pach, L. J. Schulman: Crossing families. *Combinatorica*, 14 (1994), 127–134.
- [4] S. Avital, H. Hanani: Graphs. *Gilyonot Lematermatika*, 3 (1966), 2–8 (héber nyelven).
- [5] M. de Berg, M. van Kreveld, M. Overmars, O. Schwarzkopf: *Computational Geometry – algorithms and Applications*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1997.
- [6] D. Bienstock, N. Dean: Bounds for rectilinear crossing numbers. *Journal of Graph Theory*, 17 (1993), 333–348.
- [7] G. Cairns, Y. Nikolayevsky: Bounds for generalized thrackles. *Discrete and Computational Geometry*, to appear.
- [8] Ch. Chojnacki (A. Hanani): Über wesentlich unplättbare Kurven im dreidimensionalen Raume. *Fund. Math.*, 23 (1934), 135–142.
- [9] T. K. Dey, J. Pach: Extremal problems for geometric hypergraphs. *Discrete and Computational Geometry*, 19 (1998), 473–484.
- [10] P. Erdős, R. K. Guy: Crossing number problems. *American Mathematical Monthly*, 80 (1973), 52–58.
- [11] I. Fáry: On straight line representation of planar graphs. *Acta Univ. Szeged. Sect. Sci. Math.*, 11 (1948), 229–233.
- [12] M. R. Garey, D. S. Johnson: Crossing number is NP-complete. *SIAM Journal of Algebraic and Discrete Methods* 4 (1983), 312–316.
- [13] W. Goddard, M. Katchalski, D. J. Kleitman: Forcing disjoint segments in the plane. *European Journal of Combinatorics*, 17 (1996), 391–395.
- [14] R. K. Guy: The decline and fall of Zarankiewicz's theorem. In: *Proof Techniques in Graph Theory*. Academic Press, New York, 1969. 63–69.
- [15] H. Hopf, E. Pannwitz: Aufgabe No. 167. *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, 43 (1934), 114.
- [16] G. Károlyi, J. Pach, G. Tóth: Ramsey-type results for geometric graphs. I. *Discrete and Computational Geometry*, 18 (1997), 247–255.
- [17] G. Károlyi, J. Pach, G. Tardos, G. Tóth: An algorithm for finding many disjoint monochromatic edges in a complete 2-colored geometric graph. In: *Intuitive Geometry*. (I. Bárány, K. Böröczky, eds.) Bolyai Society Mathematical Studies 6, Budapest, 1997, 367–372.
- [18] G. Károlyi, J. Pach, G. Tóth, P. Valtr: Ramsey-type results for geometric graphs. II. *Discrete and Computational Geometry*, 20 (1998), 375–388.
- [19] K. Kedem, R. Livne, J. Pach, M. Sharir: On the union of Jordan regions and collision-free translational motion amidst polygonal obstacles. *Discrete and Computational Geometry*, 1 (1986), 59–71.
- [20] D. J. Kleitman: The crossing number of $K_{5,n}$. *Journal of Combinatorial Theory*, 9 (1970), 315–323.
- [21] Y. Kupitz: Extremal problems in combinatorial geometry. *Aarhus University Lecture Notes Series*, 53 Aarhus University, Denmark, 1979.
- [22] T. Leighton: *Complexity Issues in VLSI, Foundations of Computing Series*. MIT Press, Cambridge, MA, 1983.

- [23] L. Lovász, J. Pach, M. Szegedy: On Conway's thrackle conjecture. *Discrete and Computational Geometry*, 18 (1997), 369–376.
- [24] J. Pach: Notes on geometric graph theory. In: *Discrete and Computational Geometry* (J. E. Goodman et al., eds.), DIMACS Series, Vol 6, Amer. Math. Soc., Providence, 1991. 273–285.
- [25] J. Pach: Geometric graphs and geometric hypergraphs. *Graph Theory Notes of New York*, 31 (1996), 39–43.
- [26] J. Pach, P. K. Agarwal: *Combinatorial Geometry*. J. Wiley and Sons, New York, 1995.
- [27] J. Pach, F. Shahrokhi, M. Szegedy: Applications of the crossing number. *Algorithmica*, 16 (1996), 111–117.
- [28] J. Pach, M. Sharir: On the boundary of the union of planar convex sets. *Discrete and Computational Geometry*, 21 (1999), 321–328.
- [29] J. Pach, J. Spencer, G. Tóth: New bounds for crossing numbers, *Proc 15-th ACM Symposium on Computational Geometry*, 1999.
- [30] J. Pach, G. Tóth: Graphs drawn with few crossings per edge. *Combinatorica*, 17 (1997), 427–439.
- [31] J. Pach, G. Tóth: Which crossing number is it, anyway?, FOCS'98, 617–626. Also in: *Journal of Combinatorial Theory. Ser. B*.
- [32] J. Pach, J. Törőcsik: Some geometric applications of Dilworth's theorem. *Discrete and Computational Geometry*, 12 (1994), 1–7.
- [33] J. Pach, R. Wenger: Embedding planar graphs with fixed vertex locations. In: *Graph Drawing '98* (Sue Whitesides, ed.), Lecture Notes in Computer Science 1547, Springer-Verlag, Berlin, 1999. Megjelenés alatt.
- [34] R. B. Richter, C. Thomassen: Relations between crossing numbers of complete and complete bipartite graphs. *American Mathematical Monthly*, February 1997. 131–137.
- [35] M. Sharir: Motion planning. In: *Handbook of Discrete and Computational Geometry*. (J. E. Goodman and J. O'Rourke, eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida, 1997. 733–754.
- [36] G. Tóth: Note on geometric graphs, in preparation.
- [37] G. Tóth, P. Valtr: Geometric graphs with few disjoint edges, *Proc. 14th Annual Symp. on Computational Geometry*, ACM Press (1998) 184–191. Also in: *Discrete and Computational Geometry*, to appear.
- [38] P. Turán: A note of welcome. *Journal of Graph Theory*, 1 (1977), 7–9.
- [39] W. T. Tutte: Toward a theory of crossing numbers. *Journal of Combinatorial Theory*, 8 (1970), 45–53.
- [40] P. Valtr: On geometric graphs with no k pairwise parallel edges. *Discrete and Computational Geometry*, 19 (1998), 461–469.
- [41] D. R. Woodall: Thrackles and deadlock. In: *Combinatorial Mathematics and Its Applications*. (D. J. A. Welsh, ed.), Academic Press, London, 1969. 335–348.

AGRÁRTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

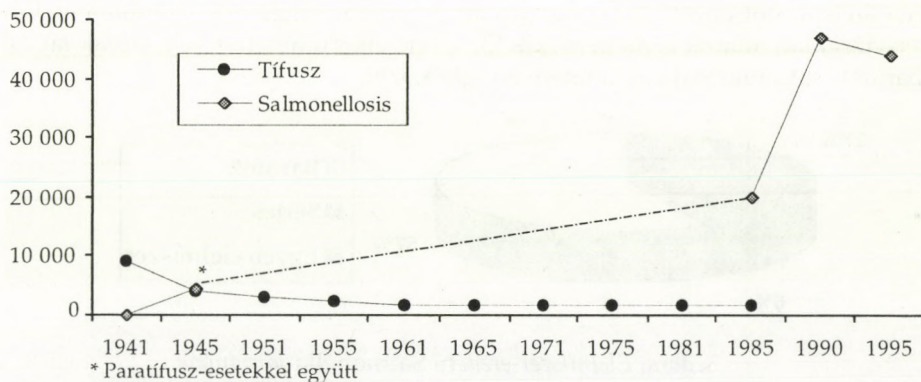
ÉLELMISZER-BIZTONSÁG – KIHÍVÁSOK – MEGOLDÁSOK

NAGY BÉLA, SZMOLLÉNY GÁBOR,
KOVÁCS SÁNDOR, BITAY ZOLTÁN

Salmonellák és salmonellosisok mint megújuló kihívások

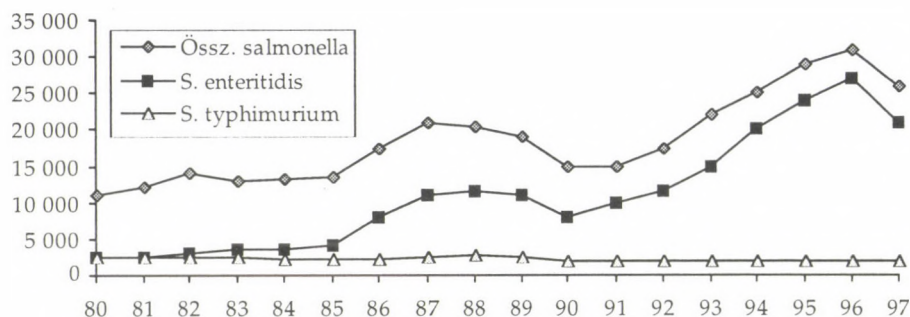
A fertőző betegségek mindenkori történetét tanulmányozva, a kihívások és megoldások egymást követő ciklusainak lehettünk tanúi, melyek során a megoldást (vagy annak látszó akciót) újabb gondok és kihívások követték. Ennek egyik jellegzetes példája a salmonellosis elleni küzdelem, melyet a hazai és nemzetközi, humán- és állat-egészségügyi szakemberek immár harmadik generációja folytat, s melynek nyugvópontja – számos eddigi eredmény ellenére – még nem tűnt fel a szakmai látóhatáron.

A fentiek alátámasztására – első példaként – az USA humán-salmonellosisainak trendjét a második világháborútól napjainkig érdemes áttekinteni (1. ábra).



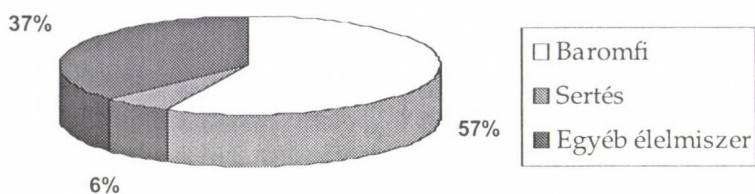
1. ábra: Tífusz és paratífusz, valamint egyéb salmonellosisok az USA-ban

Megállapítható, hogy a *Salmonella typhi* és *S. paratyphi* okozta súlyos (tífusz, paratífusz) megbetegedések aránya – az életbe léptetett higiénés és járványvédelmi programok hatására – jelentősen csökkent. A salmonellosis azonban itt (és sok más, fejlett közegészségügy rendszerrel rendelkező országban) hamarosan új for-



2. ábra. Humán Salmonella-izolálások Magyarországon

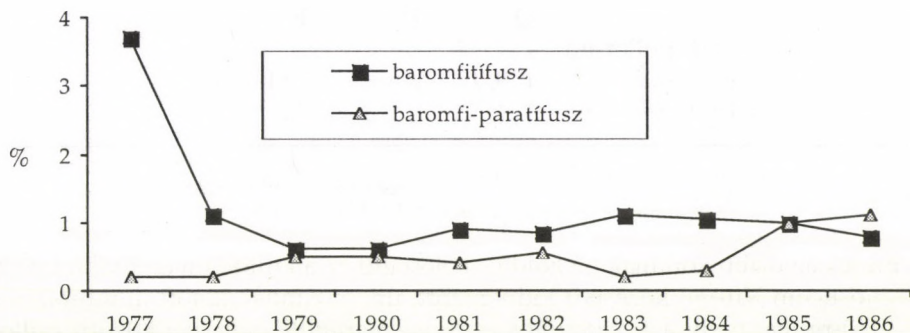
mában jelent meg: elsősorban baromfihús- és tojásfogyasztással összefüggő, az előbbinél jóval enyhébb lefolyású (*S. heidelberg*, *S. typhimurium* és *S. enteritidis* okozta) fertőzések formájában (1). Magyarországon az Országos Epidemiológiai Intézet adatai szerint az utóbbi másfél évtized járványgörbéje (2. ábra) nagyjából az USA-éval és sok más országgal azonos időszakban, a humán *Salmonella*-izolálások (és ennek háttérében a szalmonellajárványok) jelentős emelkedését mutatja. Ebben – ugyancsak sok más, fejlett egészségügyi rendszerrel rendelkező országhoz hasonlóan – a *S. enteritidis* szerovariáns dominál (2). A fenti adatforrás szerint a humán *S. enteritidis*-fertőzések eredete az esetek túlnyomó többségében a baromfieredetű élelmiszerekre vezethető vissza (3. ábra). Ezen álláspontot egyébként a humán járványoktól független, legutóbbi élelmiszer-vizsgálati adatok is megerősítik (3). Ezért elkerülhetetlen feladatnak látszik a baromfi-salmonellosissal kiemelten foglalkozni.



3. ábra. Élelmiszer-eredetű Salmonella-járványok

A baromfi-salmonellosis elleni védekezés egyébként a legutóbbi két évtizedig az állat-egészségügyi szolgálat feladatai között oly mértékű elsőbbséget élvezett, hogy ezzel külön rendelet (ún. baromfitífusz-rendelet) foglalkozott, s írta elő a máig érvényes rendkívül szigorú ellenőrzési és felszámolási teendőket (4). A *S. gallinarum* és *S. pullorum* okozta ún. baromfitífusz az emberre nézve nem veszélyes. A baromfiállományokra vonatkozó jelentőségét azonban mi sem érzé-

kelteti jobban, mint hogy az 1927-ben *Manninger Rezső* akadémikus létrehozta Országos Állat-egészségügyi Intézet hét legfontosabb feladata között az egyik a baromfitífusz elleni védekezés volt. Ezt a nagy jelentőségű feladatot a magyar állategészségügy – több fejlett európai és észak-amerikai államot megelőzve – az 1980-as évek elejére megoldotta (4. ábra). A siker örömét azonban nem élvezhette, mivel szinte ezzel egy időben jelentkeztek az egyre szaporodó (különösen a *S. enteritidis* okozta) humán salmonellosisokról szóló jelzések (2. ábra). A fertőzések elsődleges forrását e jelzések szerint a baromfiállományokban kellett keresni. Ezt igazolni látszott a baromfitífusz gyérülésével párhuzamosan az ún. baromfiparatífusz-esetek megszorodása (5). A hazai élelmiszerekben, különösen a tojástartalmú alapanyagokban, a baromfiparatífusz egyik leggyakoribb okozójának, a *S. enteritidis* serovarnak dominanciája volt megállapítható (4). A *S. enteritidis* elleni védekezési lehetőségeket és teendőket ezen ismertető keretében tárgyalni lehetetlen volna, ezért e témában a közelmúltban megjelent tanulmányunkra kell utalnunk (6).

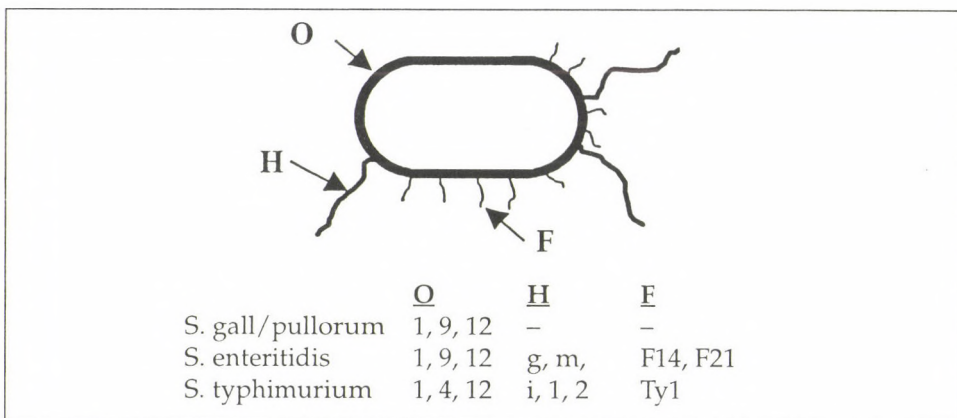


4. ábra. Baromfitífusz és -paratífusz gyakorisága intézeti hullaanyagokban (1977–86)

Jelen közleményben csupán egyetlen módszerre, a *vakcinázásos védekezésre* kívánunk kitérni. E módszer a legutóbbi idők kutatási eredményeinek köszönhetően a baromfi-salmonellosis elleni védekezésben egyre nagyobb reményekre jogosít (bár egyes országokban a vakcinák megítélése igen nagy eltéréseket mutat). A *S. enteritidis*-fertőzöttségre különösen jellemző, hogy a szülőállományoktól az utódok felé – elsősorban a fertőzött tojásokon keresztül – terjed, ezért az utóbbi években egyre több országban – így nálunk is – a szülőállományok tojássezon előtti vakcinázásával igyekeznek az utódok felé történő (vertikális) terjedésnek elejét venni, s ez az esetek többségében sikerre vezetett (7).

A „megoldás” mellett azonban máris újabb „kihívás” jelentkezett, mégpedig a *S. enteritidis* elölt baktériumait tartalmazó vakcinával oltott állományok szerológiai áthangolódása. A vakcinában lévő *S. enteritidis* baktériumok LPS-természetű ún. O-antigénjei (O1,9,12) ugyanis a baromfitífuszt okozó *S. gallinarum*/*S. pullorum* sejtfal-antigénjeivel teljes mértékben megegyeznek (5. ábra). Emiatt a barom-

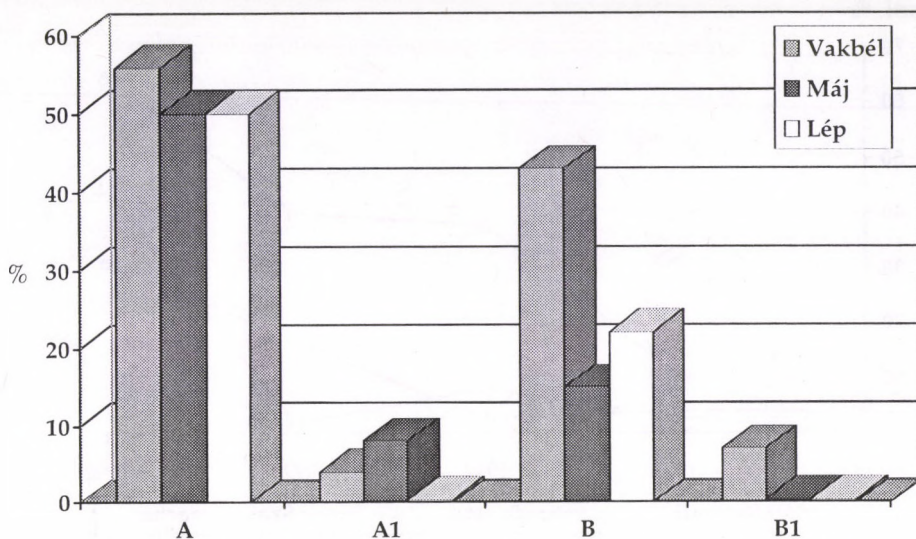
fitifusz-antigénnel a *S. enteritidis*szel immunizált állatok vérsavója reagál (ún. fals pozitív reakció), s ezáltal a baromfitifusz ellenőrzésére jól bevált szerológiai módszer használhatatlanná válik. A tojószezon előtt tehát az állatokat a *S. enteritidis* ellen védeni lehet, de egyúttal ugyanazon antigénnel szemben, melyek a baromfitifusz okozójára is jellemzőek, mesterségesen áthangoljuk. Így az esetleges tifuszfertőzöttséget a vakcinázás elfedi. (Szerencsére a fent írottak szerint ennek reális lehetőségével ritkán kell számolnunk.)



5. ábra. Salmonella O, H és F antigénjeinek morfológiája és egyes szerovarovakat jellemző O, H és F antigének

Ennek az újabb gondnak megoldását elősegíti az a külföldön és általunk is (a Diagnosticum Kft-vel közösen) kidolgozott, ún. enzimhez kötött immun-assay (ELISA)-próba, mely a *S. enteritidis* és *S. gallinarum*/*S. pullorum* közötti csilló-antigénekben rejlő különbségekre alapoz (5. ábra). Az immunizált állatok által a *S. enteritidis* baktériumok csilló-antigénjei ellen termelt ellenanyagok következetes kimutatása a vakcinázás tényét bizonyítja, s magyarázatul szolgál a baromfitifusz-fertőzöttség ellenőrzésére használt gyors próbákban óhatatlanul észlelt O-antigén-reakciókra. A próba alkalmazásával tudtuk – a baromfitifusz-rendelet értelmében egyébként a tenyésztésből kizárandó – értékes állományokról a baromfitifusz gyanúját elhárítani. Ugyanakkor további feladatként adódott egy olyan ún. marker vakcina igénye, mely ún. negatív marker segítségével az esetleges tifuszfertőzöttséget (és/vagy a *S. enteritidis*-fertőzöttséget) a vakcinával előidézett immunitástól megkülönbözteti.

Ami a fertőzésre legérzékenyebb, naposállatokat illeti, a szájon keresztül (itatóvízben) adandó élő Salmonella-vakcinák alkalmazása az oltásnál gyakorlatiasabb módszer, melyre az elsőként Németországban kidolgozott (kémiai mutagenezissel virulenciájában jelentősen csökkentett) *S. typhimurium*-vakcinák szolgáltattak példát (8). Ezek alkalmazásában Magyarország az élen járt, s ennek megfelelően – a vakcinát kidolgozó német kutatókkal együttműködésben – azt is bizonyítottuk, hogy – naposcsibék esetében – a *S. typhimurium*-vakcinák a *S.*



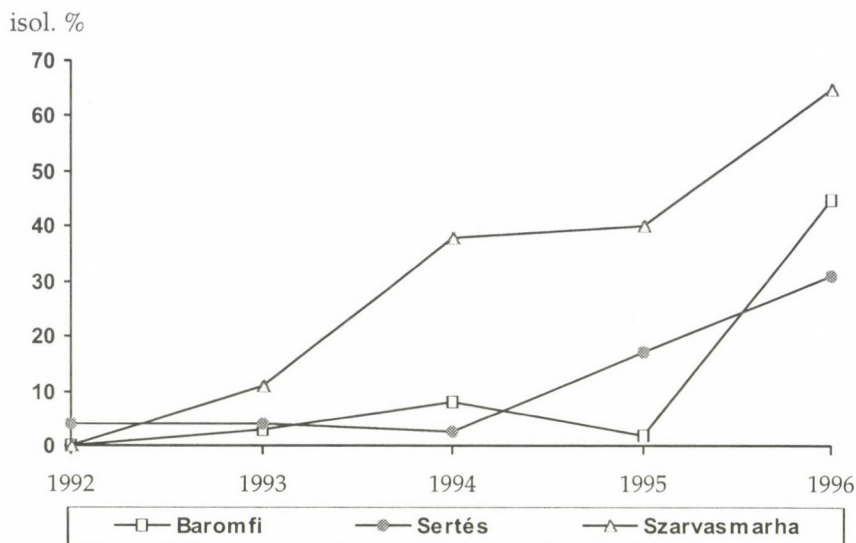
6. ábra. Élő *Salmonella typhimurium*-baktériumokkal immunizált csibék védtettsége *S. typhimurium*- és *S. enteritidis*-ráfertőzéssel szemben. (Csoportonként 12 csibe vakbélének, lépének és májának *Salmonella*-fertőzöttsége a lehetséges maximumhoz képest.)

A. Kontroll (nem immunizált), *S. typhimurium*mal fertőzött;

A1. Immunizált, *S. typhimurium*mal fertőzött; B. Kontroll (nem immunizált), *S. enteritidis*szel fertőzött; B1. Immunizált, *S. enteritidis*szel fertőzött

enteritidis ellen is jelentős, korai keresztvédelmet nyújtottak (9). A korábban ismertetett módszerrel (10) elért eredmények egyik értékes elemének tartjuk a *Salmonella* bélben való megtelepedésének erőteljes gátlását, valamint a lép és a máj fokozott védelmét (6. ábra).

A baromfi-salmonellosis elleni védekezésben tehát bizonyos megoldásokhoz – úgy tűnik – eljutottunk, de a kihívások újra és újra megújuló sora ezzel még korántsem ért véget. A további munkák a vakcinák tökéletesítésére vonatkozóan folynak. Addig is, amíg e téren újabb eredményeket mutathatunk fel, máris újabb kihívást jeleznek (11, 12) az antibiotikumok elleni ún. *multirezisztenciával* rendelkező *Salmonella*-törzsek egyre gyakoribbá válásáról szóló nemzetközi és hazai járványtani adatok. Németországban (13) pl. az utóbbi 10 évben a multi-rezisztens ún. DT104 fágtypusú *S. typhimurium*-törzsek aránya meredeken emelkedett (7. ábra). Idevonatkozó hazai vizsgálataink szerint az antibiotikum-rezisztenciát leginkább mutató ún. *S. typhimurium* DT104-es-törzsek néhány éve hazánkban is megjelentek, s úgy tűnik, hogy elsősorban pulyka- és sertésállományokban a leggyakoribbak (14). Irodalmi adatok arra is utalnak, hogy a *S. typhimurium* DT104 egyes állatfajokban súlyosabb megbetegedéseket okoz. Szerencsére az összes izolátum arányában a fenti típusok még nem jelentenek komoly eltolódást, de annyi bizonyos, hogy az antibiotikumoknak az utóbbi év-



7. ábra. *Salmonella typhimurium* DT104 gyakorisága Németországban (1992–1996)

tizedekre jellemző széles körű alkalmazása ezen új – „antibiotikum-rezisztens” – fajtípus elterjedésének kedvez.

A salmonellosis elleni védekezésben ezért az ún. nem antibiotikus módszereket helyezük előtérbe. Ezek között kiemelkedő – de korántsem egyedüli – szerepet kell hogy kapjanak a különböző vakcinák, továbbá azok az egész baromfi-vertikumra kiterjedő ajánlások, melyeket egy idevonatkozó PHARE program (HU-9304-05-02) keretében a *Salmonella* elleni védekezést célzó integrált minőség szabályozási rendszer a baromfiszektor számára Magyarországon címmel dolgoztunk ki (15). Ennek alkalmazását jelentősen két tényező segítené:

- egy országos *Salmonella*-monitoring program és egy (ennek adatait felhasználó)
- országos *Salmonella*-csökkentési program.

Az e programra vonatkozó részletes javaslatok kidolgozása a jelenlegi feladataink (kihívásaink) között szerepel.

Irodalom

1. Zeidler, G.: Who's afraid of the *Salmonella* wolf? *Poultry World*, (Misset.) Suppl., May. 4–9. 1996.
2. Anon: *Salmonella* surveillance, 1997. *Epinfo*, 5 (1998), (20) 205–211.
3. Nagy, B., Kovács, S., Milch, H., Bitay, Z., Lantos, Cs., Szentgáliné, Cs. E., G. László, V., Kostyák, Á.: A baromfi-salmonellozis közegészségügyi és állat-egészségügyi vonatkozásai, védekezési alapelvek. *Magy. Áo. Lapja*, 48 (1993) 397–406.
4. A földművelésügyi miniszter 41/1997. (V. 28) FM rendelete az Állategészségügyi Szabályzat kiadásáról. *Mezőgazdasági és Élelmiszerügyi Értesítő*, 1997. 48. évf., 13. sz., 737–738.

5. Nagy, B., Kovács, S.: A *Salmonella*-fertőzöttség helyzete az állategészségügyi szolgálatban, feladatok és lehetőségek a fertőzöttség csökkentésére. A MTA-MÉM Állatorvos-tudományi Bizottság 1987. március 19-i vitaanyaga.
6. Nagy, B., Kovács, S., Kostyák, Á., Bitay, Z.: A salmonellosis étel-miszer-biztonsági jelentősége és a károk csökkentésének lehetőségei. *Magy. Áo. Lapja*, 119 (1997) 672–685.
7. Köfer, J., Gruber, H.: Bekämpfung der Salmonellosen beim Geflügel in der Steiermark. 1. Mitteilung: Massnahmen in Elterntierherden und Brütereien. *Wien Tierarztl. Mschr.*, 1999. (in Print).
8. Methner, U., Koch, H., Meyer, H.: Modell zur experimentellen Wirksamkeitsprüfung von Bekämpfungsmassnahmen gegen Salmonellainfektionen beim Huhn. *Dtsch. Tierarztl. Wschr.*, 102 (1995) 225–228.
9. Nagy, B., Szmollény, G., Kostyák, Á., Methner, U., Steinbach, G., Speed, K., Wray, C.: Cross protection between *S. enteritidis* and *S. typhimurium* live oral vaccines, and indications for use of *S. typhimurium* live vaccines in waterfowl and turkey. WHO Consultation on Vaccination and Competitive Exclusion Against Salmonella Infections in Animals. Oct. 48. 1998. Jena.
10. Szmollény, G., Bitay, Z., Simon, A., Nagy, B.: Experimental licenced live oral vaccines or CE floras in prevention of colonization by *Salmonella* in chicks. In: Nagy, B., Mulder, R. W. H. W.: *COST Action97 Pathogenic Microorganisms in Poultry and Eggs*. No. 5. Poultry and Food Safety., Budapest. 2022. Aug. 1997. European Commission EUR 18210 EM, 207–222.
11. Glynn, M. K., Bopp, Ch., Dewitt, W., Dabney, P., Mokhtar, M., Angulo, F. J.: Emergence of multidrug resistant *Salmonella enterica* serotype typhimurium DT104 infections in the United States. *N. Eng. J. Med.*, 338 (1998) 1333–1338.
12. Pásztai, J.: Humán *S. typhimurium* törzsek változása az évek tükrében. *Epinfo*, 5. (39) (1998) 410–412.
13. Rabsch, W., Schroeter, A., Hartung, M., Helmuth, R.: Prävalenz von *S. typhimurium* DT104 in Deutschland. *AVID-Mitteilungen*, II/1997. Anlage 23. S. 1.
14. Szmollény, G., Kostyák, Á., Kovács, S., Szekrényi, M. T., Speed, K., Wray, C., G. László, V., Gadó, I., Pásztai, J., Milch, H., Fekete, P. Zs. Tóth, I., Nagy, B.: *Salmonella typhimurium* DT104 in animals in Hungary. First Congress of the European Society for Emerging Infections. Budapest. Sept. 13–16. 1998.
15. Edel, W., Wray, C., Nagy B., Bitay Z., Kovács S., Kincses J., Papp L.: *Salmonella* elleni védekezést célzó integrált minőség szabályozási rendszer a baromfiszektor számára Magyarországon. F. M. PHARE, HU-9304-05-02 program, 1995.

A BSE és a prion-betegség egyéb formáinak etiológiája és közegészségügyi megítélése

A prion-betegség a központi idegrendszeret érintő fertőzőes kórkép, amelynek jellemzői a rendkívül hosszú (humán megbetegedés esetén akár több évtizedes) lappangási idő, a befolyásolhatatlan progresszió és a halálos kimenetel. Embernél és különböző állatfajokban egyaránt előfordulhat. A humán betegségnek jelenleg négy megjelenési formáját ismerjük: a Creutzfeldt–Jakob-betegséget, a Gerstmann–Sträussler–Scheinker-kórt, a fatális familiáris insomniát és a kurut (1. táblázat).

1. táblázat

A prion-betegség természetes körülmények között előforduló formái

| | |
|--|-----------------------|
| Creutzfeldt–Jakob-betegség | humán |
| Gerstmann–Sträussler–Scheinker-kór | humán |
| Fatális familiáris insomnia | humán |
| Kuru | humán |
| Scrapie (surlókór) | juh, kecske |
| Bovin spongiform encephalopathia (BSE) | szarvasmarha |
| Krónikus senyvesztő betegség („chronic wasting disease”) | szarvas, jávorszarvas |
| Nyércek encephalopathiája | nyérc |
| Macskák encephalopathiája | macska |
| Egzotikus unguláták encephalopathiája | |

A Creutzfeldt–Jakob-betegség az egész világon előforduló ritka megbetegedés (incidenciája: 0,5–1 beteg/millió lakos/év); fő tünete a progrediáló demencia. Az esetek egy része (10–15%-a) familiáris, és feltételezik, hogy hibás gének örök-

lődésének következménye, további 1% pedig nozokomiális infekció révén jön létre. A többi, hagyományos tünetekkel jelentkező Creutzfeldt–Jakob-megbetegedés ismeretlen eredetű. Ugyanakkor a közelmúltban a Creutzfeldt–Jakob-betegség egy újfajta változata tűnt fel Nagy-Britanniában, amely mind kórlefolyásában, mind patológiájában valamelyest különbözik a hagyományos kórképtől. Ez az ún. új variáns Creutzfeldt–Jakob-betegség állati infekcióra vezethető vissza: a fertőzést a betegek prion-betegségben, bovin spongiform encephalopathiában szenvedő szarvasmarháktól kapták, feltehetően az állatok belsősegeinek fogyasztása révén. Nagy-Britanniában eddig 26, Franciaországban 1 személy betegedett meg az újfajta kórképből. A *Gerstmann–Sträussler–Scheinker-kór* a Creutzfeldt–Jakob-betegség egy speciális, súlyos ataxiával járó formája; kizárólag familiárisan fordul elő. Ugyancsak családi előfordulású a *fatális familiáris insomnia*, melynek fő tünete – mint neve is mutatja – az alvászavar. A *kuru* az új-guineai bennszülöttek megbetegedése volt az 1950–70-es években; igazolt, hogy rituális kannibalizmussal terjedt.

Az állatokban előforduló kórformák közül ki kell emelni a juhok *surlórkórját* (scrapie-t) (1. táblázat), amely a világ számos országában előfordul. A legfontosabb tünete az állatok falhoz, karámhoz, fához történő dörzsölődése, ami a központi idegrendszer érintettségéből fakadó erős viszketés következménye. A kórforma angol és magyar elnevezése (scrapie, surlórkór) ugyancsak erre a tipikus tünetre utal. A másik igen fontos állati kórforma a *bovin spongiform encephalopathia* (BSE) (1. táblázat). A BSE az 1980-as évek közepétől okozott hatalmas járványt Nagy-Britanniában a szarvasmarhák között, és a betegség kisebb számban más országokban is előfordult. A járvány a mai napig sem zárult le teljesen. A fertőzéseket minden bizonnyal a szarvasmarhatápra (csontliszt) került patogén okozta, amely az 1980-as évek elején bevezetett új tápanyag-előállítás technika alkalmazása következtében életben tudott maradni. A csontliszt készítéséhez állati – többek között juh – belsősegeket is felhasználtak. Mivel a juhok között lehettek scrapie-vel fertőzött egyedek, feltételezik, hogy a surlórkór kórokozója a szerves oldószeres lipidmentesítés elhagyása, illetve az alacsony hőmérsékleten történt hőkezelés következtében megőrizte fertőzőképességét, és képes volt az infekciót átvinni a szarvasmarhákra. A járványnak különös jelentőséget kölcsönöz, hogy a BSE az első olyan, állatokban előforduló prion-fertőzés, amelyről igazolták, hogy emberre áterjedt. Mivel a betegség lappangási ideje igen hosszú, nem lehet megjósolni, mekkora lesz a BSE-járvány következtében kialakuló új variáns Creutzfeldt–Jakob-járvány Nagy-Britanniában.

Nincs rá közvetlen bizonyíték, de nem zárható ki annak lehetősége sem, hogy ember bizonyos körülmények között más állatfajoktól (pl. juh, szarvas) is kaphat prion-betegséget. Bár a kérdés eldöntése további vizsgálatokat igényel, azt hiszem, mindenképpen célszerű tartózkodnunk olyan állatok belsősegeinek fogyasztásától, amelyekben a prion-betegség természetes körülmények között is előfordul.

Mint az 1. táblázatból látható, a prion-betegség számos más állatfajt is képes megbetegíteni. Az infekció az egyik speciesről a másikkra általában átvihető, azon-

ban a transzmisszió az új fajban eleinte hosszabb lappangási idővel jár, ami a kórokozó adaptációjának szükségességére utal (species barrier).

A prion-betegség különleges kórképnek tekinthető a fertőző betegségek között. Bár bizonyítottan infekzív, patológiai képe mégsem gyulladásos, hanem degeneratív jellegű. A prion-betegség ezen tulajdonsága ez idáig egyedülálló. Még meglepőbb azonban, amit a betegség kórokozójáról eddig megtudtunk. Magát a patogént még nem sikerült teljes bizonyossággal azonosítani, prion-fertőzött szövetekkel végzett vizsgálatok azonban arra utalnak, hogy minden eddig megismert mikrobától eltérően kizárólag fehérjéből áll, és saját nukleinsavat nem tartalmaz (2., 3. táblázat). A mikroba további furcsa tulajdonságokkal is rendelkezik (4. táblázat), amelyek valószínűleg ugyancsak fehérjetermészetére utalnak: rendkívül rezisztens hőre, formaldehidre és savas pH-ra, ugyanakkor érzékeny az alkalikus kémhatással szemben.

2. táblázat

A scrapie-ágens tartalmaz fehérjét

Érzékeny:

- dietil-pirokarbonát
- nátrium-dodecyl-szulfát
- guanidin-tiocianát
- fenol
- urea
- butándion
- 2mM fenil-metil-szulfonil-fluorid
- proteináz K, tripszin

3. táblázat

A scrapie-ágens nem tartalmaz nukleinsavat

- erős rezisztencia UV sugárzással szemben 254 nm hullámhosszon
- rezisztencia nukleázokkal szemben
- rezisztencia Zn-ionokkal szemben 65 °C-on
- rezisztencia 0,5 M hidroxil-aminra
- rezisztencia psoralenre

4. táblázat

A prion tulajdonságai

Erősen ellenálló:

- hőre
- savas pH-ra
- formaldehidre

Érzékeny:

- alkalikus pH-ra

A kísérletek alapján Stanley B. Prusiner, a Kaliforniai Egyetem professzora 1982-ben az ágenszt „fehérjetermészetű kórokozó részecskének” (proteinaceous infectious particle), röviden *prion*nak nevezte el. Az ágens kizárólagos fehérjeter-

mészetét igazoló kísérleteket azóta több laboratórium is megerősítette, meggyőzően cáfolni viszont senki sem tudta.

Még ugyanebben az évben, ugyancsak Prusiner professzor laboratóriumában egy olyan fehérjét fedeztek fel, amelynek mennyisége az érintett szövetekben általában arányos volt a fertőzőképesség mértékével. A fehérjének a prion protein (PrP) nevet adták. Később kiderült, hogy a PrP a központi idegrendszerben normál körülmények között is előfordul, fiziológiás szerepét azonban még nem tisztázták egyértelműen. Ugyanakkor az egészséges agyszövetben található PrP (PrP^{Cell} = PrP^C) több tulajdonságában jelentősen különbözik a prionfertőzésben szenvedő ember, ill. állat központi idegrendszeréből izolált molekulától (PrP^{Scrapie} = PrP^{Sc}). A PrP^{Sc} a PrP^C-től eltérően detergensekben rosszul oldódik, hajlamos az összezsapódásra, ami amyloid-képződéshez vezet, és proteázokra magas fokon rezisztens. Az eltérő tulajdonságokat részben a molekulák különböző másodlagos konfigurációja magyarázza: míg a PrP^C elsősorban α -helikális szerkezetű, a PrP^{Sc} másodlagos szerkezetében a β -redőzött lemez dominál. Jelenleg számos kutató feltételezi, hogy a PrP^{Sc} azonos a prionnal, a betegség kórokozójával, és felszaporodása nem csak egy kísérőjelenség, illetve a krónikus fertőzést követő másodlagos reakció a szervezetben. A hipotézis szerint a prionok szaporodása a molekulák másodlagos konformációjának átalakításán alapszik: a szervezetbe bekerült PrP^{Sc} PrP^C-hez kötődik, szerkezetét β -redőzött lemezzé alakítja, majd a keletkezett PrP^{Sc} újabb normál konformációjú PrP-hez kapcsolódik, és ezáltal láncreakció jön létre.

Ugyancsak Prusiner professzor munkacsoportja mutatta ki, hogy a familiáris humán prion-betegségben (a Creutzfeldt–Jakob-esetek egy része, Gerstmann–Sträussler–Scheiner-kór, fatális familiáris insomnia) szenvedők PrP-génjében mutációk találhatók. A kutatók egy része úgy gondolja, hogy ezek a mutációk önmagukban is elegendők a betegség kiváltásához. Feltételezik, hogy a mutáció destabilizálja a PrP^C másodlagos szerkezetét, majd a konformáció-változás magától bekövetkezik.

A PrP-nek a betegség patogenezisében játszott szerepét transzgenikus állatkísérletekkel próbálták tisztázni. Valóban a PrP^{Sc} kórokozó szerepe mellett szól, hogy olyan transzgenikus egerek, amelyek nem hordoztak PrP-gént, immunisak voltak prion-fertőzéssel szemben. Ugyanakkor mutáns PrP-gént hordozó egereken csak akkor jelentek meg spontán (fertőzés nélkül) a prion-betegség tünetei, ha a hibás gént nagy számban hordozták. Meglepő, hogy szöveikben PrP^{Sc}-t nem lehet kimutatni, a központi idegrendszerben kizárólag PrP^C fordult elő igen nagy mennyiségben.

A további kísérletek közül ugyancsak a PrP-nek a betegség patogenezisében játszott fontos szerepére utalt a molekula idegsejtekkel szembeni toxicitásának igazolása.

Bár a „PrP^{Sc} mint kórokozó” hipotézis széles körben elfogadott, nem tud választ adni a prion-betegség patomechanizmusával és epidemiológiájával kapcsolatban felvetődő valamennyi kérdésre.

1. Nem képes megmagyarázni, hogyan lehetséges, hogy a kórokozó kb. 20 törzzsel rendelkezik, amelyek patogenitása eltérő, és általában egymástól szövet-tanilag jól megkülönböztethető megbetegedést hoznak létre. Korábban feltételezték, hogy esetleg a PrP^{Sc}-molekula harmadlagos szerkezetében vagy glukozilációjában lehetnek különbségek, azonban egyik elképzelést sem sikerült igazolni.

2. Ellentmondásnak tűnik, hogy a PrP^{Sc}-hipotézis alapján egy betegség egyszerre lehet fertőző és öröklődő. Annál is inkább, mivel a humán PrP-gén metionin-valin polimorfizmusa a 129-es codonban bizonyítottan csupán az infekcióval szembeni fogékonyságot határozza meg, és állatokban is leírtak már olyan polimorfizmusokat, amelyek szintén kizárólag a fogékonyságot közvetítik. A mutációk, amelyekről feltételezik, hogy egymagukban elegendők a betegség kiváltásához, csak mennyiségi szempontból különböznek a polimorfizmustól: ritkábban fordulnak elő. Ráadásul a mutációk ún. penetrációja nem teljes: ismerünk olyan potenciálisan „rosszindulatú PrP-mutációkat” hordozó személyeket, akiknél a prion-betegség életük végéig sem alakult ki.

3. A PrP^{Sc}-hipotézis ugyancsak nem képes megmagyarázni a prion-betegség néhány epidemiológiai sajátosságát. Például, hogyan fertőződtek azok a Creutzfeldt-Jakob-betegek, akiknek PrP-génjében semmilyen mutáció sem található, és miért lehetséges, hogy a prion-betegség egyes állatfajok (juh, kecske, szarvas) között bizonyítottan terjed kontakt úton, míg más specioseknél (szarvasmarha, menyét, rágsálók), valamint embernél nem.

Nemrég egy amerikai kutatócsoport igazolta, hogy a kórokozó természetes úton fertőződött juhok környezetében a szénaatkákon is előfordul. Bár ez a kísérleti eredmény sem ad egyértelmű magyarázatot az egyes specioseknél megfigyelt eltérő epidemiológiára, felhívja a figyelmet a vektorok lehetséges szerepére. Egyértelműen a fertőzés valamilyen köztigazda (vektor) által történő transzmissziójára utal, hogy juhok és kecskék között szinte kizárólag azok a kutatók észleltek kontakt terjedést, akik természetes módon fertőződött állatokat használtak kísér-

5. táblázat

| Kontakt terjedést észleltek juhok és kecskék között | |
|---|------|
| Chelle | 1942 |
| Gordon | 1957 |
| Dickinson | 1965 |
| Brotherston és mtsai | 1968 |
| Klinsporn és Hourrigan | 1971 |
| Dickinson és mtsai | 1974 |
| Greig | 1940 |
| Sigurdsson | 1954 |

6. táblázat

| Nem figyeltek meg kontakt terjedést juhok és kecskék között | |
|---|------|
| Pattison és Millson | 1960 |
| Pattison és Millson | 1961 |
| Pattison és Millson | 1962 |
| Pattison | 1964 |
| Áldásy és Süveges | 1964 |
| Brotherston és mtsai | 1968 |
| Hadlow és mtsai | 1974 |
| Parry | 1957 |
| Parry | 1960 |
| Parry | 1979 |

leteikhez (kivétel: Gordon), ugyanakkor a mesterségesen fertőzött állatok környezetében a szerzők többsége nem tapasztalt horizontális transzmissziót (kivétel: Parry) (5., 6. táblázat).

Jelen előadásban nem kívánok találgatásokba bocsátkozni a lehetséges köztigazdát illetően, kétségtelen azonban, hogy olyan vektorról lehet szó, amely a fertőzést kizárólag egyes speciesekre (juh, kecske, szarvas) képes átvinni, és nem található meg a fertőzött állat belső szerveiben (mesterségesen fertőzött juhok és kecskék valószínűleg nem terjesztik az infekciót kontakt úton). Úgy gondolom, a vektor azonosítása jelentősen megkönnyítené a prion-betegség etiológiájának tisztázását; és feltehetőleg arra is választ kapnánk, okoznak-e a prion-betegségen kívül más kórképeket is a prionhoz hasonló újfajta mikrobák.

RAFAI PÁL

A mikotoxinok hazai előfordulása, a károk csökkentésének lehetőségei

A mikotoxinok a mikroszkopikus gombák másodlagos anyagcseretermékei, amelyek a talaj–növény–állat–ember táplálékláncba épülve, ma még pontosan fel nem becsülhető méretű közegészségügyi veszély forrásai, és amelyek igen jelentős veszteséget okoznak a hazai állattenyésztésnek. A ma már ismert toxikus gombametabolitok száma meghaladja az ezret, de újabb és újabb mikotoxinok felfedezése valószínűsíthető. Közülük mintegy 100 mikotoxin káros hatásait bizonyították, de kiemelkedően nagy humán- és állat-egészségügyi jelentőséggel – jelenlegi ismereteink szerint – mindössze 15-20 mikotoxin rendelkezik. Kémiai szerkezetüktől függően ezek a toxinok rákkeltő, immunszuppresszív, teratogenikus, mutagén, citotoxikus, citosztatikus és ösztrogén-mimetikus hatással rendelkeznek, amelyek károsítják a szervezetben folyó fehérjeszintézist, és károsítják az idegrendszert és a parenchimas szerveket.

Hazai és nemzetközi vizsgálatok egyaránt arra utalnak, hogy a takarmány-alapanyagok *mikotoxin-szennyeződése igen gyakori*. Előfordulásuk 1–50 µg/kg koncentrációban szinte természetesnek tekinthető. A mikotoxinokkal tehát együtt élünk, de az általuk okozott nagyobb károk megelőzése jelentős nemzetgazdasági és közegészségügyi érdek.

Jóllehet a hazai mikotoxin-kutatások ma már közel negyvenéves múltta tekinthetnek vissza, még ma sem rendelkezünk a fontosabb takarmány-alapanyagok, illetve takarmánykeverékek mikotoxin-szennyezettségének felmérésére irányuló *rendszeres vizsgálatokkal*.

Az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet Központi Laboratóriuma az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság támogatásával 1994-ben az ország 10 tájegységéből származó 47 búza-, 38 árpa-, 16 zab- és 51 kukoricaminta DON-, T-2-, F-2- és ochratoxin-A-szennyezettségét vizsgálta közvetlenül a betakarítás után, illetve a tárolást követően. Az 1994-es, rendkívül csapadékszegény évben termett gabonafélék döntő többségének mikotoxin-szennyezettsége 100 µg/kg-nál kisebb volt, ezért feltehetően nem jellemzi az egy átlagos évben mérhető mikotoxin-szennyezettséget.

Az Állatorvostudományi Egyetem Állathigiéniai Tanszékén 1991. január 1. és 1997. április 1. között 1190 takarmány-alapanyagmintát vizsgáltak meg fuzárium toxinok (köztük T-2 toxin, HT-2 toxin, deoxynivalenol, nivalenol, fusarenon-X, diacetoxiscirpenol, zearalenon és ochratoxin-A) jelenlétére.

Figyelemmel a *Magyar Takarmánykódex* II. kiadásának ajánlásaira, a mintákat a mikotoxin-szennyezettség alapján egyedileg értékelték, és a mintákban talált mikotoxinok félesége és koncentrációja alapján a következő 3 csoport valamelyikébe sorolták.

Az *A csoportba* azok a minták kerültek, amelyek mikotoxint egyáltalán nem tartalmaztak, vagy a mintákban előfordult mikotoxinok összetétele és koncentrációja alapján a mintával egyező készlet további felhasználása *aggálytalannak* volt minősíthető.

A *B csoportba* azok a minták kerültek, amelyek egy vagy több mikotoxint tartalmaztak ugyan, de a mintával egyező készletet bizonyos előírások betartásával még hasznosítani lehet. A mikotoxinokkal kisebb mértékben szennyezett alaptakarmány, illetve keverék takarmány tehát *feltételesen alkalmas* a további hasznosítására. Alaptakarmány esetében ilyen feltétel lehet a kisebb arányban való bekeverés, toxinnal nem szennyezett, azonos fajú alaptakarmánnyal történő hígítás, illetve az alaptakarmány olyan állatfajok tápjaiban való felhasználása, amelyek az adott mikotoxin-szennyezettség iránt nem érzékenyek.

A *C csoportba* sorolt takarmányminták egy vagy több mikotoxint tartalmaztak olyan koncentrációban, amely alapján a mintával azonos készlet további felhasználása jelentős termeléseszköket és egészségkárosodást okozhat. Ezért a C csoportba sorolt takarmány-alapanyagok, illetve keverék takarmányok további hasznosításra *alkalmatlanok*.

A megvizsgált kukorica-, búza- és szójamintáknak sorrendben mindössze 32,4, 8,1, illetve 14,0%-a nem tartalmazott egyetlenegy sem a vizsgált 8 mikotoxin közül. A kukorica domináns mikotoxin szennyezője a T-2 toxin volt, míg a búza- és szójamintákban a DON volt megtalálható a legnagyobb koncentrációban. Mindhárom takarmány-alapanyagban jelentős volt a ZEA-kontamináció is. Az osztályba sorolás alapján az volt megállapítható, hogy a kukorica-, búza- és szójamintáknak mindössze 2,7, 2,8, illetve 1,9%-a tartalmazott olyan mennyiségben és összetételben mikotoxinokat, amelynek alapján a mintával egyező készlet további felhasználását nem lehetett javasolni.

A vizsgálatra került mintákat az ország különböző területein működő nagy takarmánygyárak küldték be, és a mintákkal egyező készletek további hasznosítására a vizsgálat eredményei alapján került sor. Így, annak ellenére, hogy a minták nem egy szisztematikusan végzett felmérés során kerültek vizsgálatra, a valós helyzetet viszonylag jól tükrözik. Ezek a vizsgálatok nem helyettesítik azonban a hazai takarmány-alapanyagok és takarmánykeverékek mikotoxin-szennyezettségének folyamatos, meghatározott rendszerben történő, *felmérő jellegű vizsgálatát*. A táplálékláncban előforduló mikotoxinok szerepének tényleges megítélése, az általuk reprezentált veszély megbecslése, a kedvezőtlen változások időben való észlelése, valamint a védekezés megszervezése egyaránt sürgeti a felmérő vizs-

gálatok feltételeinek mielőbbi megteremtését. Erre alapozottan javasolta az MTA Allatorvos-tudományi Bizottsága [Magy. Áo. Lapja, 1998. 120. (8) 501–504.] a felmérő vizsgálatok mielőbbi elindítását. A Bizottság azt is fontosnak találta, hogy a felmérő vizsgálatok módszerét *autentikus szakemberekből álló bizottság* dolgozza ki. A módszernek meg kell határoznia a vizsgált gabonafélék körét, a valós helyzet megbízható becsléséhez szükséges mintaszámot, a minták eredetét, a vizsgált mikotoxinok körét, az analízis módját és az analitikai eredményekre alapozott minősítés módját.

Magyarországon a takarmány-alapanyagok és keverék takarmányok még megengedhető mikotoxin-szennyezettségének értékeire nézve a *Magyar Takarmánykódex* tartalmaz *ajánlásokat*. A takarmánykódexben közölt határértékek tehát *irányszámok*, amelyek nem jelentenek egyértelmű állat-egészségügyi garanciákat. Ez azt jelenti, hogy adott esetben a megengedettnél kisebb mikotoxin-szennyezettség is okozhat termeléseszköket, illetve állatmegbetegedést, más esetben viszont a megengedettnél nagyobb mikotoxin-koncentráció sem okoz klinikai tünetekben is megnyilvánuló betegséget.

A *Magyar Takarmánykódex*ben közreadott határértékek hasznosan szolgálták az állattenyésztést. Az időközben bekövetkezett változások és tapasztalatok alapján azonban szükségesnek látszik az ajánlások továbbfejlesztése. Ennek egyik lehetséges módja lenne az *ajánlások kötelező előírással történő szabályozása*. A *Magyar Takarmánykódex*ben szereplő határértékek kötelező előírásként való meghatározásának eredményeként megengedhetővé válna egyes mikotoxinok takarmányban való jelenléte meghatározott koncentrációban.

A szabályozás valamilyen megoldására szükség van azért is, mert a hatályos takarmánytörvény a takarmányok mikotoxin-szennyezettségére vonatkozóan nem ad egyértelmű útmutatást. A földművelésügyi miniszter 25/1996. (IX. 4.) FM-rendeletének 6. számú melléklete meghatározza az aflatoxin B₁ és az ochratoxin-A takarmánykeverékekben megengedhető mennyiségét. Egyéb tekintetben a rendelet előírja, hogy csak olyan takarmány állítható elő, forgalmazható, importálható és használható fel, amely nem veszélyezteti az állat, illetve az állati termék fogyasztójának egészségét. Tekintettel arra, hogy a mikotoxinok többsége veszélyezteti az állatok és emberek egészségét, a rendelet ezért úgy is értelmezhető, hogy a *takarmányok nem tartalmazhatnak más mikotoxinokat*, csak aflatoxin B₁-et és ochratoxin-A-t, a rendeletben meghatározott koncentrációval egyenlő vagy annál kisebb mennyiségben. A hivatkozott rendelet 8. melléklete ugyanakkor tételesen felsorolja azokat az anyagokat, amelyek *nem lehetnek a takarmányokban*. A tiltott anyagok között mikotoxinok nem szerepelnek.

Az ajánlások kötelező előírással történő szabályozása ellen azonban más ellenérv is felhozható. Így például a *takarmányokat* szennyező mikotoxinok közül csak az aflatoxinok mennyiségét szabályozzák az egyes országok. Az EU 97/8/EC (1997. február 7.) direktívája is csak az aflatoxin B₁ megengedhető mennyiségét határozza meg. Joggal kérdezhetjük tehát: ha az EU nem írja elő kötelezően a takarmányok még megengedhető mikotoxin-szennyezettségét, akkor miért szabjunk mi magunknak korlátokat? Ugyanakkor ma már számos ország-

ban szabályozzák az *élelmiszerekben* megengedhető egyes fuzárium toxinok mennyiségét (1. táblázat), és várható, hogy a törvényi szabályozást egyre több országban kiterjesztik a takarmányokra is. A még mindig hatályos 74/63/EEC (1973. december 17.) direktíva lehetőséget ad arra, hogy a tagországok külön is szabályozzák a takarmányokat szennyező anyagok mennyiségi viszonyait. A törvényi szabályozás helyett azonban egyelőre az ún. *kritikus mikotoxin-koncentráció* használata ajánlható. A kritikus mikotoxin-koncentráción belül tapasztalati alapon elkülönítik a *mikotokikózis jellegzetes tüneteit kiváltó* koncentrációt, illetve azt a koncentrációt, amely ugyan nem hoz létre jellegzetes klinikai tüneteket, de csökkenti a termelést. Ez az ún. *teljesítménycsökkenést provokáló koncentráció*.

Mindezekre alapozottan *javasolta* az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága, hogy a *Magyar Takarmánykódexben irányelveként* megadott mikotoxin-szenyvezettség határértékeket egy szakértői bizottság ismételtel tekintse át, és tegyen javaslatot a szükséges módosításokra, valamint adjon részletes útmutatást az általa megfogalmazott *ajánlati értékek* gyakorlati felhasználására.

Az ajánlati értékeket az újabb ismeretek birtokában és a termelési gyakorlat változásához igazodva folyamatosan módosítani kell. Erre való tekintettel azt is *javasolta* a Bizottság, hogy a Magyar Tudományos Akadémia tekintélyével és a rendelkezésre álló eszközeivel segítse elő azokat a kutatásokat, amelyek egyrészt pontosíthatják az egyes mikotoxinokra vonatkozó határértékeket, másrészt újabb mikotoxinok megismerését teszik lehetővé.

1. táblázat

Emberi fogyasztásra szánt gabonafélék és termékeik megengedhető fuzáriumtoxin-szennyezettsége

| Ország | Termék | OH-A | DON | ZEА | T-2 | Fumon. B ₁ , B ₂ |
|---------------|------------------------|------|------|------|-----|---|
| Ausztria | Búza, rizs | 5 | 500 | 60 | – | – |
| | Durumbúza | 5 | 750 | 60 | – | – |
| Brazília | Kukorica | – | – | 200 | – | – |
| Dánia | Gabonatermékek | 5 | – | – | – | – |
| Franciaország | Gabona | 5 | – | 200 | – | – |
| Kanada | Nyers búza | – | 2000 | – | – | – |
| Magyarország | Étkezési gabona | – | 2000 | – | 300 | – |
| | Étkezési korpа | – | 1200 | – | 300 | – |
| | Liszték, mőzli | – | 1000 | – | 300 | – |
| Oroszország | Gabona | – | 1000 | 1000 | 100 | – |
| Svájc | Gabonatermékek | 2 | – | – | – | 1000 |
| Uruguay | Árpa, kukorica | 50 | – | 200 | – | – |
| USA | Búzaalapú késztermékek | – | 1000 | – | – | – |

A takarmánykeverékek mikotoxin-szennyezettsége csökkenti a takarmány állati terméké váló transzformációjának hatásfokát, és veszélyezteti az állatok egészségét. Az állattenyésztőknek ezért természetes törekvése, hogy a piacon garantált beltartalmú és káros anyagoktól mentes takarmány-alapanyagot, illetve takarmánykeveréket vásárolhassanak. Ez az igény a takarmány-alapanyag-előállításban és a takarmánykeverék-gyártásban is *ki fogja kényszeríteni a minőségbiztosítási rendszerek létrehozását és üzemeltetését*. Ez azt jelenti, hogy a *vetőmag-előállítás – gabonatermesztés – tárolás – takarmánykeverék-gyártás* technológiai folyamatának *döntési pontjain* a felhasznált anyagok mikrobiológiai és toxikológiai állapotát ellenőrizni fogják. Ennek megfelelően a *takarmánygyártó üzem* vizsgálatni fogja a takarmány-alapanyag mikrobiológiai állapotát és mikotoxin-szennyezettségét, és vételi döntését a vizsgálati eredmények ismeretében hozza meg. Az *állattenyésztő gazdaság* pedig meg fogja követelni a mikotoxintól mentes, jó mikrobiológiai és beltartalmi paraméterekkel rendelkező takarmány szállítást és ennek tanúsítását.

A minőségbiztosítás *jogi és szabványügyi feltételeit*, valamint az ellenőrző vizsgálatok *laboratóriumi hátterét* rövid időn belül meg lehet teremteni. A minőségbiztosítási rendszer bevezetésének ez nem lehet akadálya. Sokkal jelentősebb gond azonban, hogy a takarmányalapanyag-termelés ma még nem teszi lehetővé az alacsony toxinkoncentrációjú kukorica, illetve kalászos gabona termesztését. A minőségbiztosítási rendszerek kiépítésének ezért számos olyan előfeltétele van, amelyben *állami irányítás és támogatás* szükséges. Ezek a következők:

- a) *Genetikailag rezisztens fajták* előállítása. A szükséges ismeretanyag rendelkezésre áll. Erre alapozva megfelelő programot kell kidolgozni, és a jelenleg még szétforgácsolt erőket koncentrálni kell.
- b) Képessé kell tenni az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézetet arra, hogy a toxintermelő gombákkal szembeni *rezisztenciát független állami szervként* legyen képes *vizsgálni*. Ennek előfeltételeként egy *létrehozandó munkabizottságnak* ki kell dolgoznia azokat a módszereket, amelyek alkalmasak a takarmány-alapanyagok fuzáriumrezisztenciájának megbízható és reprodukálható megbecslésére. Meg kell határozni azt a fajta etalont, amelynél fogékonyabb fajtákat nem lehet fajtaként elismerni és köztermesztésre ajánlani.
- c) A biológiai alapok fejlesztésén túl számos olyan gombarendszer-tani, növény-kórélettani, növényvédelmi, növényi és gomba-molekuláris genetikai, állatorvos-tudományi, humán-egészségügyi kutatási feladat van, amelyet el kell végezni, ha lehet, nemzetközi kooperáció keretében. Ennek előfeltétele a *kutatói utánpótlás biztosítása*.

Az állami döntések meghozatala mellett a *termelőknek és felhasználóknak* is *megvan a maguk felelőssége*. Ezek a következők:

- a) *Fajtaválasztás*. Nyilvánvaló, hogy betegség-ellenálló fajtát kell termesztetni, ha ilyen van a piacon, ezzel ugyanis kisebb költséggel lehet a kívánt mikrobiológiai minőséget előállítani s a fajtára egyébként jellemző minőségi paramétereket elérni.

- b) *Agrotechnika.* Mindent el kell követni annak érdekében, hogy a növényállomány optimális körülmények között fejlődjék. Kiváló minőségű talaj-előkészítésre, a talaj biológiai szempontjait figyelembe vevő talajművelésre, optimális időben végzett vetésre, harmonikus növénytrágyázásra, időben elvégzett növényápolási munkákra, megfelelő időben végzett aratásra és azonnali tarlóhántásra, valamint megfelelő vetésgazdálkodásra van szükség.
- c) *Növényvédelem.* Amennyiben a fajták ellenállása adott időjárási és járványtani helyzetben nem elegendő a fertőzés megelőzésére, növényvédelmi technológiával kell a veszélyeztetett növénykultúrák egészségi állapotát biztosítani. Nagyon fontos a *fajtaspecifikus* növényvédelmi technológia, ezzel ugyanis jelentős költséget lehet megtakarítani a minőség veszélyeztetése nélkül. A kalászosok növényvédelme megoldottnak tekinthető. Ezzel szemben a kukorica esetében ma még csak a rezisztenciára lehet hagyatkozni.
- d) *Optimális tárolási feltételek kialakítása.* Az ország jelenlegi tárolókapacitásának nagy részében nem lehet optimális tárolási feltételeket biztosítani.

Mindezekre alapozottan javasolta az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága egy olyan *tanulmány* elkészítésének megrendelését, amelyre alapozottan megfelelő időben létre lehet hozni a takarmány-alapanyagok és keverék takarmányok minőségbiztosítási rendszerét.

A mikotoxin-helyzet javításának vannak egyéb feltételei is. Ezek közül a következőket kell megemlíteni.

- a) *Mikotoxin-vizsgáló laboratóriumok.* Jelenleg 23-25 olyan laboratórium működik az országban, ahol vizsgálják a takarmány-alapanyagok és keverék takarmányok mikotoxin-szennyezettségét. Ezek a laboratóriumok az állategészségügyi intézetekben, megyei állat-egészségügyi és élelmiszer-ellenőrző állomásokon, egyetemeken, illetve főiskolákon, valamint néhány jelentősebb takarmánykeverőben működnek. A kémiai vizsgálatok módszerét és a vizsgálati megbízhatóságot illetően a laboratóriumok között jelentős különbségek vannak. A Bizottság fontosnak tartja a következő megállapításokat:

- A vékonyréteg-kromatográfiás módszerek, illetve a rendelkezésre álló ELISA-módszerek *kizárólagosan a takarmány-alapanyagok monitor-rendszerű vizsgálatára alkalmasak.*
- A *takarmánykeverékek* mikotoxin-szennyezettségének megbízható vizsgálatára *gáz-kromatográfiás, illetve nagy hatékonyságú folyadék-kromatográfiás módszereket szabad alkalmazni.* A minta-előkészítésben az *immunaffinitási elven működő* tisztítási technikák váltak be.

Ezeknek figyelembevételével kell a már működő laboratóriumok közül megfelelő akkreditációs eljárással kiválogatni azokat, amelyek a minőségbiztosítási rendszer alapját képezhetik. Erre azért is szükség van, mert a mikotoxin-vizsgálatokra jogosult laboratóriumok *döntő többsége* ELISA-módszert használ.

- b) *Alap- és alkalmazott kutatások támogatása.* A Bizottság úgy látja, hogy az alább felsorolt *kutatási témáknak* – nemzetgazdasági és közegészségügyi jelentőségükre is tekintettel – prioritást kell kapniuk.

- Mikotoxin-hatású újabb molekulák megismerésére irányuló vizsgálatok. Gyanítható, hogy a mikroszkopikus gombák számos, jelenleg még nem ismert, peptid, illetve szacharid jellegű molekulát termelnek, amelyek gazdasági és közegészségügyi jelentőséggel rendelkezhetnek (ilyen pl. a bovaromicin, amelynek megismerése éppen hogy elkezdődött).
 - A mezőgazdaságot globálisan érintő hatások (talajok savanyodása, világméretű éghajlati változások, nagy hozamú, de a fuzárium-fermentőzségre érzékenyebb növényfajták megjelenése, agrotechnológiai változások stb.) egyaránt hatnak a szántóföldi penészflórára. Támogatni kell ezért azokat a kutatásokat, amelyek a szántóföldi penészflóra változásainak törvényszerűségeit kívánják felderíteni. Fontos annak tisztázása is, hogy a *F. moniliforme* előfordulási arányának növekedése, illetve esetleges dominánssá válása megváltoztatja-e a takarmány-alapanyagok mikotoxinprofilját. Ehhez kapcsolódóan szükséges vizsgálni azt is, hogy a *F. moniliforme* milyen toxinokat termel a hazai viszonyok között. Ezek a toxinok kizárólagosan fumonizin jellegűek-e, vagy más, rokon jellegű vegyületek?
- c) A mikrobiológiai és mikotoxikológiai szempontból *kifogásolt takarmánytétel*ek hasznosítása, illetve megsemmisítése. Sürgetően állást kell foglalni a minőségileg alkalmatlan tételek kezelésével kapcsolatban. A minőséghibás tetteket jelenleg eladják, feldolgozzák vagy feleltetik. Ez a gyakorlat nem követhető. Két járható út kínálkozik:
- A hibás tételek *kártalanítás* melletti megsemmisítése. Bár ez a megoldás lenne a legkedvezőbb, ennek az anyagi feltételeit ma még aligha lehet megteremteni.
 - A másik lehetőség a hibás takarmányok *detoxikálása*, illetve *mikotoxintartalmának csökkentése*. Sürgető feladat a kereskedelmi forgalomban elérhető készítmények valódi hatékonyságának ellenőrzése és felhasználásukhoz ajánlások kidolgozása.
- d) Az *igazságügyi szakértői gyakorlat egységesítése*. Az állattenyésztésben keletkező jogviták jelentős hányada kapcsolódik a takarmánykeverékek mikotoxin-szennyezettségével kapcsolatos felelősség megállapításához. Erre való tekintettel szükséges az igazságügyi (állatorvos és mezőgazdasági) szakértők *mielőbbi továbbképzése* az egységes gyakorlat kialakítása érdekében. Amíg ez meg nem történik, az MTA Állatorvos-tudományi Bizottsága a következő *iránymutatást* adta:
- A Magyar Takarmánykódexben közölt mikotoxin-határértékek *irányszámok*, amelyek azt jelzik, hogy egy adott mikotoxin egy adott koncentrációban *károsíthatja* az állatok egészségét. Éppen ezért a szakértői tevékenység során alapvető fontosságú annak tisztázása, hogy a perbeli állományban keletkezett veszteségek a takarmányban mért mikotoxin-koncentrációtól függetlenül is okozati összefüggésbe hozhatók-e az etetett takarmány szennyezettségével. Ennek során tisztázni kell azt, hogy az állományban észlelt klinikai tünetek és a rendelkezésre álló

kórbonctani leletek alátámasztják-e valamely mikotoxin esetleges oki szerepét.

- Ha az állománnyal etetett takarmánykeverékre vonatkozóan rendelkezésre áll olyan vizsgálati eredmény, amely annak mikotoxin-szenyvezettségét igazolja, a szakértőnek egyebek mellett tisztáznia kell, hogy milyen módszerrel határozták meg a mikotoxin koncentrációját. A vékonyréteg-kromatográfiás, illetve ELISA-módszerrel nyert eredményeket fenntartással kell kezelni, bizonyító erejűnek csak akkor szabad elfogadni, ha egyéb körülmények is a mikotoxikózis oki szerepét bizonyítják.

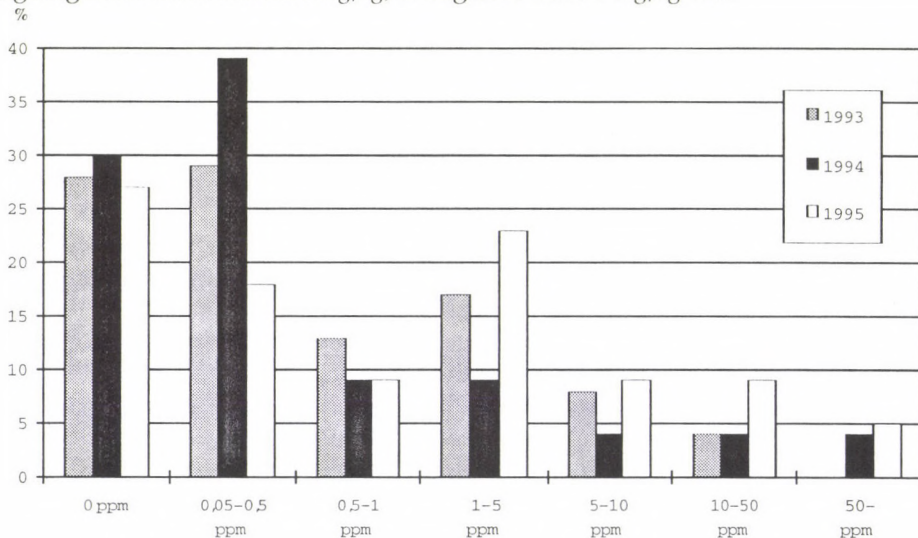
e) *Információ-átadás.* Tekintettel a mikotoxikózisok okozta jelentős gazdasági veszteségekre és népegészségügyi veszélyekre, fontos feladat a fogyasztók, illetve a szakma az eddigieknél jobb tájékoztatása. Ehhez fel kell használni a média adta lehetőségeket, továbbképző tanfolyamokat kell szervezni, és elérkezett az idő egy olyan kézikönyv megrendelésére és megjelentetésére, amely összefoglalná jelenlegi ismereteinket a toxintermelő gombákról és gazdanövényeikről, a rezisztencia fontosabb kérdéseiről, az agrotechnika és a növényvédelem kapcsolódó területeiről, valamint a mikroszkopikus gombák okozta humán- és állat-egészségügyi hatásokról.

Fumonizin toxinok hazai előfordulása, állat- és humán-egészségügyi vonatkozásai I.

A fumonizinek a kukoricát világszerte fertőző *Fusarium moniliforme* és rokon gombafajok által termelt mikotoxinok. A fumonizineket 1988-ban Dél-Afrikában a Marasas vezette PROMEC (Programme on Mycotoxins and Experimental Carcinogenesis) csoport kutatói fedezték fel. A fumonizinek felfedezése azért volt nagy jelentőségű, mert ezzel több állat- és humán betegség kóroktana vált ismertté. Nem véletlen, hogy az elmúlt 10 évben a nemzetközi mikotoxin-kutatás középpontjába a fumonizin-kutatás került. Ma már nyolc fumonizin-származék ismert, ezek közül a természetben a fumonizin-B₁ mikotoxin fordul elő a leggyakrabban és a legnagyobb mennyiségben. Állat- és humán-egészségügyi szempontból is a fumonizin-B₁ a legjelentősebb. A fumonizinek a takarmány-, sőt még az étkezési kukoricát is világszerte szennyezik. Előfordulásukat a világ szinte minden országában megállapították, ahol kukoricát termelnek vagy felhasználnak. A fumonizinekre szinte minden állatfaj, sőt még az ember is érzékeny. Két haszonállatfaj különösen érzékeny a fumonizin-B₁-re: a lófélék és a sertés. A fumonizin-B₁ lovakban idegrendszeri tüneteket okozó agylágyulást (*equine leukoencephalomalacia*) idéz elő. Ez a betegség szörványosan az egész világon már a század eleje óta előfordul. A fumonizin-B₁ sertésekben súlyos mellvízkórt és tüdővízenyőt vált ki. A betegséget 1989–90-ben az USA-ban észlelték, és bizonyították, hogy fumonizin-B₁ okozza. A fumonizinek rákkeltő hatású anyagok, amit állatokon és szövettenyészetben végzett laboratóriumi kísérletekkel többszörösen is igazoltak. A fumonizinek az emberben is rákkeltő hatásúak. Számos tanulmány bizonyította, hogy a világ azon részein – Dél-Amerikában, Kína egyes részein, a legutóbbi adatok szerint pedig Olaszország északkeleti részén –, ahol a vidéki lakosság mindennapi tápláléka a kukorica, ill. a kukoricából készült ételek, és a kukorica gyakran szennyezett fumonizinekkal, az emberi nyelőcsőrák (*oesophageal cancer*) kb. harmincszor gyakrabban fordul elő, mint a világ más területein, ezért a kutatók általánosan elfogadottnak tekintik, hogy ezeken a területeken az emberi nyelőcsőrákot a fumonizinek okozzák.

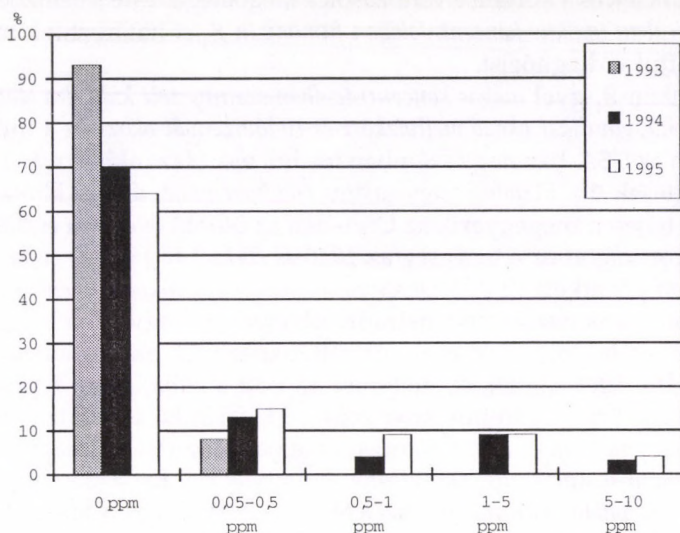
Hazánkban a kukorica a takarmányozásban meghatározó jelentőségű alapanyag, ezért a fumonizin-kutatásba már az 1990-es évek eleje óta bekapcsolódtak hazai kutatók. A Debreceni Állategészségügyi Intézetben 1993-ban kezdtük el a hazánkban termesztett kukorica fumonizin-B₁-szennyezettségének vizsgálatát. Szisztematikusan meghatároztuk elsősorban az ország keleti és középső részén termesztett kukorica fumonizin-B₁-szennyezettségét. Meghatároztuk a rossz minőségű, penészes, ill. a külsőleg egészséges, átlagos takarmánykukorica fumonizin-B₁-tartalmát. A következőző ábrák az 1993-ban, 1994-ben és 1995-ben termesztett penészes és átlagos kukorica fumonizin-B₁-szennyezettségét mutatják.

Az 1. ábra a penészes kukoricaminták fumonizin-B₁-szennyezettségét ábrázolja. Leolvasható róla, hogy a fumonizin-B₁-et nem tartalmazó minták aránya mindhárom évben 30% alatt volt, vagyis a mikotoxin-pozitivitás aránya meghaladta a 70%-ot. A fumonizin-B₁ a nyomnyi koncentrációtól egészen az 50 mg/kg-ot meghaladó szintig terjedt. A szennyezettsége mértéke évről évre növekedett, míg 1993-ban a legmagasabb mért érték 20 mg/kg, addig 1995-ben 75 mg/kg volt.

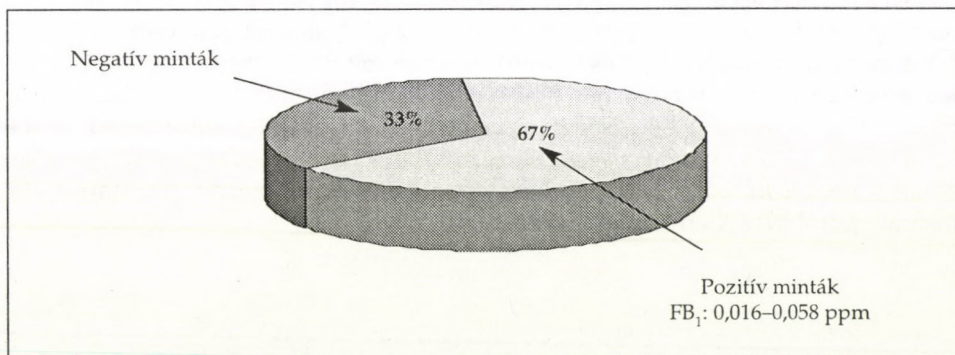


1. ábra. Penészes kukoricaminták fumonizin-B₁-szennyezettsége

A takarmányozás alapját képező ún. átlagos kukoricaminták is szennyezettek voltak fumonizin-B₁-gyel. A 2. ábra az átlagos kukoricaminták fumonizin-B₁-szennyezettségét az előző ábrához hasonló módon ábrázolja. Az egyes esztendőben termesztett átlagos kukorica fumonizin-B₁-szennyezettségében – nyilvánvalóan az adott év időjárásától függően – jelentős különbségek voltak. 1993-ban a minták több mint 90%-a fumonizin-mentes volt, a szennyezett mintákban a fumonizin-B₁ szintje nyomnyi mértéket ért el. Ezzel szemben 1994-ben és 1995-ben a szennyezettség aránya 30% fölé emelkedett. A szennyezettség mértéke a nyomnyi koncentrációtól az 5–10 mg/kg koncentrációtartományig terjedt.



2. ábra. Átlagos kukoricaminták fumonizin-B₁-szennyezettsége



3. ábra. Étkezési kukoricalisztből és kukoricadarából vett minták fumonizin-B₁-szennyezettsége (1997)

1997-ben megvizsgáltuk az emberi fogyasztásra kerülő kukoricatermékek fumonizin-B₁-szennyezettségét. A 3. ábra a kereskedelmi forgalomban kapható étkezési kukoricaliszt- és kukoricadara-minták fumonizin-B₁-szennyezettségét ábrázolja. A minták kb. kétharmad része fumonizin-B₁-gyel szennyezett volt, azonban a szennyezett minták csak nyomnyi fumonizin-B₁-et tartalmaztak.

A rossz minőségű, penészes kukorica alkalmanként olyan magas koncentrációban szennyezett fumonizin-B₁-gyel, ami érzékeny állatfajokban – lóban és sertésben – fumonizin-mikotoxikózist okozhat. Az elmúlt években a lovak fumonizin-toxikózisának, az agylágyulásnak szórványos előfordulását észleltük. A megbetegedést először 1995-ben egy Debrecen környéki gazda lóállományában diagnosztizáltuk.

A klinikai tünetek és a kórtani elváltozások a megbetegedésre jellemzőek voltak, az etetett kukoricában toxikus koncentrációban fumonizin-B₁-et határoztunk meg, mellyel alátámasztottuk a diagnózist.

A fumonizin-B₁-gyel magas koncentrációban szennyezett kukorica etetése sertésekben súlyos fokú, elhullást okozó mellvízkórt és tüdővízenyőt okoz. Ez a mikotoxikózis 1989–90-ben az USA-ban nagy számban fordult elő. Hazánkban már 1941 óta előfordul a sertések ún. *hizlalási vagy sajátos tüdővízenyője*, amely klinikumában és kórtanában teljesen megegyezik az USA-ban az utóbbi években észlelt betegséggel. Magyarországon ez a betegség az 1940-es évektől az 1960-as évekig egyes években tömegesen jelentkezett, de szóróványosan még napjainkban is előfordul. Mivel a betegség kóroktana tisztázatlan maradt, felvetődött, hogy ezt a betegséget a hazai kukoricában is előforduló fumonizin-B₁ okozza, ill. okozta. Ennek bizonyítására etetési kísérletet végeztünk, melynek az volt a célja, hogy reprodukáljuk a sertések heveny fumonizin-mikotoxikózisát. Hazai kukoricából izolált, erősen toxikus *Fusarium moniliforme* gombatorzset szemes kukoricán elszaporítottunk, így magas fumonizin-B₁-tartalmú szubsztrátot állítottunk elő. Ezt a gomba-szubsztrátot kb. 4,5%-os arányban toxinmentes malactáphoz kevertük, így a kísérleti táp fumonizin-B₁-tartalma 330 mg/kg volt. Azért alkalmaztunk ilyen magas dózist, mert a megbetegedést tipikus formában szerettük volna reprodukálni. Ezzel a kísérleti táppal választott malacokat etettünk. A kísérleti tápot fogyasztó állatok mintegy 5-6 napi bágyadság után súlyos légzőszervi tünetek között elhullottak. A kórtani vizsgálatok során súlyos mellvízkórt és tüdővízenyőt állapítottunk meg. Az etetési kísérlet eredménye azt bizonyítja, hogy a hazánkban már régóta előforduló, tisztázatlan kóroktanú betegséget, a sertések tüdővízenyőjét a fumonizin-B₁ mikotoxin okozza. Ezt a kórképet a világon elsőként 1941-ben Dr. Petrás Gyula főállatorvos hazánkban ismerte fel, bár a betegség kóroktana évtizedekig homályban maradt, és csak a legutóbbi időben tisztázódott.

Fumonizin toxinok hazai előfordulása, állat- és humán-egészségügyi vonatkozásai II.

A hazai szemestakarmányok, főleg a kukorica viszonylag nagy százaléka fertőzött *Fusarium moniliforme* penészgombával. E gombafaj fő toxinja a fumonizin-B₁, amely a tapasztalatok szerint akár toxikus dózisban is előfordulhat a sertések takarmányában, és a sertések tüdővízenyője betegséget (*porcine pulmonary edema*, PPE) okozza.

A fumonizin-B₁ a szfinganinhoz hasonló kémiai szerkezete révén elsősorban a szfingolipidek metabolizmusának és működésének megváltoztatása révén fejti ki káros hatását. Az endothel sejtek károsodása következtében megnő a tüdő vérérkapillárisainak permeabilitása, mely tüdővízenyő kialakulásához vezet. A kórképet kimutatták viszonylag magas koncentrációban adott tisztított toxinnal, ill. *Fusarium moniliforme* gombatenyésztéssel fertőzött takarmányt fogyasztó állatokban. A tüdő mellett a máj és a vese a toxin fő támadási területe. Irodalmi adatok szerint a toxin sertésben kis koncentrációban (20 ppm alatt) klinikai tünetekben meg nem nyilvánuló májkárosodást okoz, leírták a vesekárosító és pancreas necrosist kiváltó hatását, míg a jellemző kórkép, a tüdőödéma csak ennél lényegesen magasabb dózissal (175–230–330 mg/takarmány kg) volt előidézhető.

Kísérletünkben, a PATE Állattenyésztési Kar egyedülálló diagnosztikai lehetőségeit kihasználva, a még tolerálható határértékek meghatározása céljából rövid ideig (4 hétig) tartó és az előbb említett irodalmi adatokhoz viszonyítottan kis dózisú (10, 20 és 40 mg/takarmány kg) toxinexpozíció hatását vizsgáltuk választott malacokban.

A kísérletben 10 kg körüli testtömegű választott ártány malac takarmányába a Debreceni Állat-egészségügyi Intézetben előállított *Fusarium moniliforme* gombatenyésztetet kevertünk úgy, hogy a napi fumonizin-B₁-bevitel 0, 10, 20 és 40 mg/takarmány kg legyen.

A kísérlet négyhetes időtartama alatt folyamatosan mértük az állatok testtömegét és a napi takarmányfelvételt. Naponta két alkalommal ellenőriztük az állatok klinikai állapotát.

A még klinikai tünetekben meg nem nyilvánuló mikroelváltozások kialakulásának nyomon követésére az állatokat három alkalommal (a kísérlet beállítása napján, majd 2 és 4 hét elteltével) komputertomográfus (CT) és mágneses rezonancián alapuló (MR) vizsgálatnak vetettük alá. A CT-vizsgálattal a tüdőben, míg az MR-vizsgálattal kontrasztanyaggal való feltöltés előtt, majd után az agyvelőben kialakuló elváltozásokat vizsgáltuk.

Folyamatos vérvételekkel ellenőriztük egyes biokémiai paraméterek (összfehérje, albumin, kreatinin, karbamid, aszparaginsav-aminotranszferáz, koleszterin) és a szérum szfinganin/szfingozin arányának alakulását.

A kísérlet végén az állatokat leöltük, majd kórboncolás után elvégeztük a tüdő kórsvöetvettani vizsgálatát.

Az állatok a kísérlet ideje alatt klinikai tüneteket nem mutattak, sem takarmányfogyasztásuk, sem pedig testtömeg-gyarapodásuk nem tért el kontrolltársaikétól. Ugyanakkor néhány esetben már a 2., kifejezettebben azonban a 4. héten CT-s vizsgálattal enyhébb-súlyosabb fokú tüdővízenyő volt kimutatható. A röntgenképeken éles határral elkülöníthető volt az egészséges tüdőállomány az ödémás területektől.

Az elváltozások számszerűsítéséhez és statisztikai igazolásához a szöveti denzitásokra jellemző Hounsfield-értékekből a tüdőre vonatkoztatva ún. HU-indexeket számoltunk, majd összehasonlítottuk ezeknek az eltelt idő és az alkalmazott dózis szerinti alakulását. A tüdő víztartalmára utaló indexszámok a 40 mg/takarmánykg toxintartalmú tápot fogyasztó csoport egyedeiben a 2., illetve a 3. vizsgálati időpontra szignifikánsan emelkedtek. A két kisebb dózis esetében a változások nem vagy csak 10%-os szinten voltak szignifikánsak.

A CT-vizsgálatokkal egy időben elvégzett MR-vizsgálattal nem találtunk az agyvelőben kimutatható elváltozást. A vér biokémiai paraméterei közül az aszpartát-aminotranszferáz (AST) aktivitásban a dózis függvényében mindhárom kísérleti csoportban emelkedést találtunk.

A fumonizin-B₁ a szfinganinhoz hasonló szerkezetű és a szfingolipidek bioszintézisének természetes inhibitora. Hatása eredményeként megváltozik a sejtek és a vérszérum szfinganin/szfingozin-aránya. A szfingolipid-profil vizsgálat ma a legérzékenyebb indikátorként elfogadott biomarker a fumonizin-toxikózis kimutatásában. Kísérletünkben az első 9 napban megvizsgálva az említett paramétert, mindhárom dózis esetében a toxin koncentrációjával arányos növekedést tapasztaltunk.

Boncolás során ugyancsak a dózis függvényében tapasztaltuk az elváltozás súlyosságát. Már a legkisebb toxinkoncentráció is enyhe tüdőödémát idézett elő, míg a magasabb dózis mindegyik kísérleti állatban súlyos fokú tüdőödéma kialakulásához vezetett (1. táblázat).

Jelentősen megnőtt a tüdő tömege (2. táblázat), a tüdő megnagyobbodott, tömött tapintatú volt. A tüdő teljes területén – vagy a csúcs-, szívlebenszélyekre és a rekeszi lebenyszéli részére kiterjedően – a kötőszövetes sővények jól láthatóan megszőelesedtek, utcaszerű rajzolatot mutattak.

1. táblázat

A választott malacok tüdejében talált kórbonctani elváltozások

| Toxinkoncentráció | Elváltozás |
|----------------------|---|
| toxinmentes (n = 4) | minden esetben elváltozás nélküli |
| 10 mg/tak.kg (n = 4) | 3 állatban enyhe tüdőödéma 1 elváltozás nélküli |
| 20 mg/tak.kg (n = 5) | 2 állatban kifejezett tüdőödéma 2 állatban enyhe tüdőödéma 1 elváltozás nélküli |
| 40 mg/tak.kg (n = 5) | 2 állatban kifejezett tüdőödéma 3 állatban kifejezett tüdőödéma, vérzések és a hörgő körüli nyirokcsomók véres beszűrődése |

2. táblázat

A választott malacok tüdőtömegének alakulása (átlag- és szórásértékek)

| Toxinkoncentráció | toxinmentes | 10 mg/tak.kg | 20 mg/tak.kg | 40 mg/tak.kg |
|-------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| tüdő tömege (g) | 192 ± 65 | 168 ± 45 | 210 ± 22 | 266 ± 54 |

Kórszövettani vizsgálattal enyhébb-súlyosabb fokú *subpleurális* és *interlobuláris* ödéma volt látható. Feltűnő volt a felületes és mély nyirokerek lymphával való telítettsége. Jellemző volt a kötőszöveti elemek közötti savós, helyenként vörösvérsejteket is tartalmazó savós beszűrődés. A parenchyma enyhébb mértékű károsodására utalt, hogy az alveolusok többségének üregében nem volt kóros szabad tartalom. Ez egyben magyarázatot ad a klinikai tünetek hiányára, ami feltehetően a tüdő nyirokrendszerének kompenzáló, elvezető működésének volt köszönhető.

A kísérlet eredményei alapján elmondható, hogy:

1. Az állatok a kialakult súlyosabb mértékű tüdővizényő ellenére sem mutattak klinikai tüneteket, és napi testtömeg-gyarapodásuk sem tért el a kontrolltársaikétól.
2. A CT-vizsgálat, az alkalmazott matematikai és statisztikai módszer igazolta a tüdőparenchymában kialakuló folyamatokat.
3. Az MR-vizsgálatok negatív eredménye jelzi, hogy az agyszövetben a négyhetes kísérleti időtartam alatt nem alakult ki olyan mértékű elváltozás, amelynek képi megjelenítése megvalósítható.

A kísérlet eredményei alapján kezdtük meg a még kisebb dózissal való vizsgálatokat, amelyek célja a kimutatható elváltozást nem okozó toxinkoncentráció, a No Observed Effect Level (NOEL) meghatározása sertésben.

Egy másik kísérletben arra kerestünk választ, hogy a fumonizin-B₁ toxin előrehaladottan vemhes kocákkal etetve károsítja-e a méhen belüli életben a magzatot, illetve okoz-e kóros elváltozást újszülött állatban.

A kísérletben három, a vemhességük 107. napjában lévő kocával *Fusarium moniliforme* gombatenyésztéssel fertőzött takarmányt etettünk úgy, hogy a napi fumonizin-B₁ bevitele 300 mg legyen. Ezt fogyasztották az állatok az ellésig, azaz 7, illetve 9 napig, majd két koca (1. és 2. számú) az ellést követően még további 7 napig.

Az ellés folyamatát figyelemmel kísérve, kocánként két-két malacot az ellés után azonnal, tehát még a kolosztrum kiszopása előtt leöltünk. Mind a 6 vizsgált újszülöttnél enyhe, ill. súlyos fokú tüdőödémát állapítottunk meg (3. táblázat).

3. táblázat

Az ellés után leölt malacok kórbonctani vizsgálatának eredménye

| | |
|----------------------------|--|
| 1. koca malacai (n = 2) | 1 kifejezett tüdőödéma 1 kifejezett tüdőödéma, vérzés a tüdő szövetében, a hörgők körüli nyirokcsomók véres beszűrődése |
| 2. koca malacai (n = 2) | 1 kifejezett tüdőödéma 1, a jobb tüdőfél csúcs- és szívlebenyére kiterjedő, közepes fokú tüdőödéma |
| 3. koca malacai (n = 2) | 2 enyhe tüdőödéma |

A megszületést követő 24. órában ismét megvizsgáltunk hat malacot, kocánként kettőt-kettőt. Hasonlóan az előzőkhöz, enyhébb-súlyosabb elváltozások voltak láthatók (4. táblázat).

4. táblázat

Az ellés utáni 24. órában leölt malacok kórbonctani vizsgálatának eredménye

| | |
|----------------------------|--|
| 1. koca malacai (n = 2) | 2 enyhe tüdőödéma a rekeszi felületre kiterjedően, kifejezettebb ödéma a szív- és csúcslebenyekben |
| 2. koca malacai (n = 2) | 2 enyhe tüdőödéma |
| 3. koca malacai (n = 2) | 2, a csúcs- és szívlebenyekre kiterjedő, enyhe fokú tüdőödéma |

Végül a 7. napon további hat állatot vizsgáltunk meg. Az ellést követően továbbra is toxintartalmú tápot fogyasztó két koca malacaiban enyhe tüdőödéma

alakult ki, míg az ellés után toxinmentes tápot fogyasztó (3. számú) koca malacainak tüdejében nem volt látható elváltozás (5. táblázat).

5. táblázat

Az ellés után 7 nappal leölt malacok kórbonctani vizsgálatának eredménye

| | |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. koca malacai (n = 2) | 2 enyhe fokú tüdőödéma |
| 2. koca malacai (n = 2) | 2 enyhe fokú tüdőödéma |
| 3. koca malacai (n = 2) | nem volt látható elváltozás |

A tüdőödéma kórszövettani képe, jellege hasonló volt a választott malacokban kialakult és az előbbieken ismertetett kórképhez.

Nemzetközi prioritást élvező megállapítás az, hogy a *Fusarium moniliforme*-tenyészetben lévő fumonizin-B₁ toxin előrehaladottan vemhes kocákkal etetve már a méhen belüli életben károsította a malacokat. Az elváltozások a születés után 24 órával és a 7. napon az ellés után továbbra is toxint fogyasztó kocák malacaiban még kimutathatók voltak.

Humán-egészségügyi szempontból kiemelt jelentőségű a magzatkárosító hatás, valamint a toxin a tejjel történő kiválasztásának további vizsgálata.

A témában közreműködők:

Dr. Horn Péter egyetemi tanár, akadémikus, témavezető, PATE, Kaposvár
 Dr. Kovács Ferenc egyetemi tanár, akadémikus, PATE, Kaposvár
 Dr. Repa Imre igazgató főorvos, PATE CT Diagnosztikai Központ, Kaposvár
 Dr. Vetési Ferenc egyetemi tanár, ÁOTE Kórbonctani Tanszék
 Dr. Romvári Róbert igazgatóhelyettes, PATE CT Diagnosztikai Központ, Kaposvár
 Dr. Fazekas Béla osztályvezető állatorvos, Debreceni Állat-egészségügyi Intézet
 Dr. Bata Árpád PhD, ÁOTE Állathigiéniai Tanszék

BANCZEROWSKI JANUSZNÉ, VILÁGI ILDIKÓ,
DÉTÁRI LÁSZLÓ, DÓCZI JUDIT,
KUKORELLI TIBOR

Mikotoxinok az élelmiszerekben

Toxikus hatások, idegrendszeri változások biomonitorozása

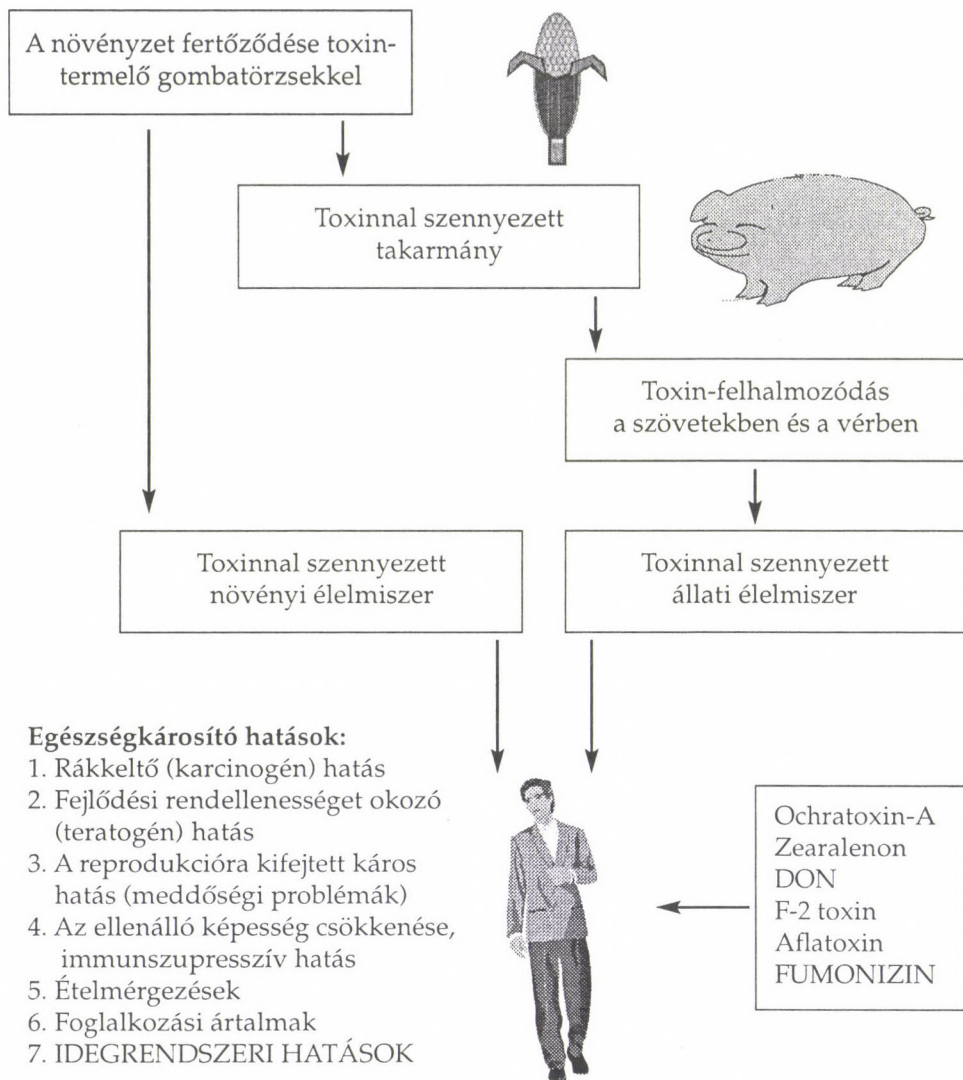
Az emberi életminőség javításának egyik legfontosabb tényezője az egészséges táplálék biztosítása. Ehhez nélkülözhetetlen a minőségi élelmiszer-előállítás, illetve az élelmiszer-szennyező anyagok – köztük a mikroszkopikus gombák által termelt természetes toxinok, a mikotoxinok – eddig még ki nem mutatott kockázati szerepének feltárása. Vizsgálatainkban a különböző mikotoxinok közül a hazánkban világméretű összehasonlításban is nagy mennyiségben jelen lévő *Fusarium* toxinok viszonylag újabban azonosított csoportjának, a *fumonizinek*nek a táplálékláncbeli útját tekintjük át, az élő szervezetben pedig konkrétan az idegrendszerre kifejtett hatásukat kívánjuk feltárni. Ismeretes, hogy bár a *fumonizin-terhelés* Magyarországon igen magas lehet, nálunk e vizsgálatok még nem folynak kellő mértékben. Az utóbbi években – jórészt komplex szakmai és metodikai bázissal rendelkező kutatócsoportunk munkájának eredményeként – több területen is figyelemre méltó eredmények születtek.

Célunk az, hogy a nélkülözhetetlen és elodázhatatlan kockázatbecsléshez és kockázatkezeléshez célorientált méréseket végezzünk, és mind elméleti, mind gyakorlati szempontból hiánypótló adatokat szolgáltatassunk. Mindezeket a toxikus anyagok gazdasági kártétele és a társadalom egészségének veszélyeztetettsége indokolja.

A mikotoxinok általában a növényi és állati eredetű táplálékkal kerülhetnek be az emberi szervezetbe. Az 1. ábra a toxinok mozgását mutatja a táplálékláncban. A bal oldali nyíl jelzi a növényi eredetű, a jobb oldali nyílak pedig az állati eredetű élelem toxintartalmának útját. Az ábra jobb alsó sarkában látható, hogy a szervezetben egyidejűleg többféle mikotoxin is jelen lehet.

Az ábrán feltüntetettük a toxinok egészségkárosító hatásait. A toxinok daganatkeltő, embriót károsító, szaporodásbiológiai problémákat okozó, az immunrendszert gyengítő hatása már bizonyított.

Az utóbbi időben került a tudományos érdeklődés előterébe és élénkült fel az idegrendszeri hatások vizsgálata, különösen a *fumonizinek* szerepével kapcsolatban. Kimutatott tény, hogy a fumonizin-B₁ gátolja a szfingolipid-bioszintézist. A szfin-

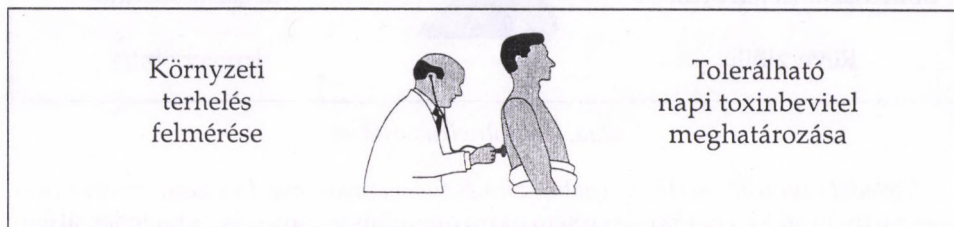


1. ábra. Az egyes toxinok mozgása a táplálékláncban

golipidek nagy mennyiségben találhatók az idegsejtek nyúlványaiban. A sejtek közötti kommunikációt, valamint a sejten belüli jeltovábbítást jelentősen befolyásolják. A szfingolipid-bioszintézis gátlásával a fumonizinek megváltoztathatják az agy jelkövetítő mechanizmusait.

A nemzetközi szakirodalom szerint a toxinokkal kapcsolatos *holisztikus humán kockázatbecslés* (2. ábra) lényege az ökológiai kockázat és a humán-egészségügyi kockázat együttes értékelése. Gyakorlatilag két nagy területe van:

- a környezeti terhelés felmérése az élelmiszer-minőség ellenőrzéséig, a biomonitorozást is igénybe véve,
- a másik terület a tolerálható, tudományosan megalapozott toxindózis megállapítása.

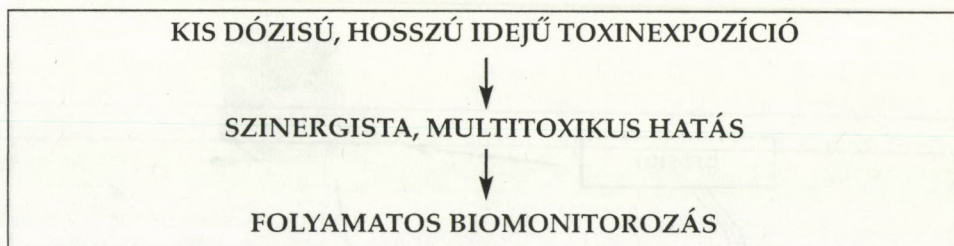


2. ábra. A humán kockázatok becslése

Ez ma még számos tudományos vonatkozásában világviszonylatban is nyitott kérdés, annak ellenére, hogy egy-két spekulatív javaslat időnként elhangzik ezzel kapcsolatban.


A mikotoxinok általában igen kis mennyiségben jutnak a szervezetbe (3. ábra). Káros hatásukat különösen akkor fejtik ki, ha a toxinéxpozíció huzamosabb idejű. Más toxinokkal *additív* vagy *szinergista* kölcsönhatás léphet fel.

Az egészségkárosodás kockázatbecsléséhez és a hatékony kockázatkezeléshez *funkcionális biomonitorozás* szükséges, amikor a toxinhatás mérőrendszere maga az élő anyag, a szervezet. Ilyen kísérletek emberen nem végezhetők. Mindössze közvetetten, megfigyelések alapján, illetve a vér, a vizelet elemzése vagy más, nem invazív módszer segítségével következtethetünk az esetleges káros hatásokra. A pontosabb, irányított vizsgálatokhoz ezért állatkísérletes modellrendszereket alkalmazunk.



3. ábra

Vizsgálataink az *idegrendszeri (neurotoxikus) hatások* kimutatására koncentrálnak. Ezek két csoportra oszthatók: *akut és krónikus hatásokra* (4. ábra). Az akut hatások többnyire a szabályozás felborulásával járnak, általában visszafordíthatók, *reverzibilisek*. A krónikus hatások ezzel szemben többnyire idegsejtpusztulást, maradandó károsodást okoznak, amelyek *visszafordíthatatlanok*, mivel az idegsejt felnőtt egyedben osztódásra képtelen, regenerációs képessége korlátozott.

| AKUT HATÁSOK |  | KRÓNIKUS HATÁSOK |
|--|---|---|
| Szabályozás, homeosztázis felborulása | | Maradandó sérülés, idegsejtpusztulás |
| Reverzibilis | | Irreverzibilis |

4. ábra. Neurotoxikus hatások

A feladat olyan dózisérték meghatározása és tudományos megalapozása, amely hosszan tartó, krónikus hatás esetén sem okoz maradandó változást, s ha lehet, átmeneti funkcionális anomáliát sem vált ki.

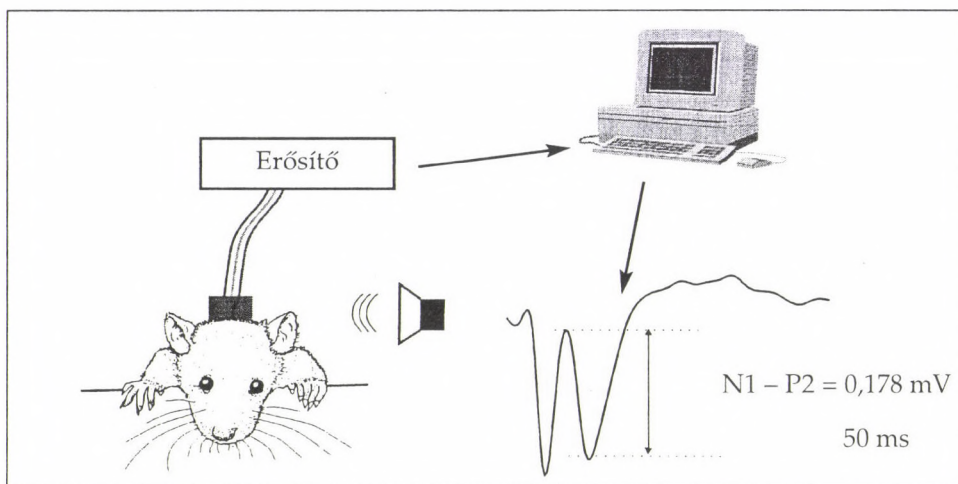
Kísérleteinkben a Debreceni Állat-egészségügyi Intézet által rendelkezésünkre bocsátott, ismert fumonizin-tartalmú kukoricadara krónikus, több napon át tartó etetésének hatását vizsgáltuk az agyi bioelektromos aktivitás változására patkányon, *in vivo* és *in vitro*. Az állatok napi 3,9 mg fumonizint tartalmazó tápot kaptak.

– *In vivo* vizsgálatainkban szabadon mozgó állatokon az agykéreg nagyobb sejt-populációjának működésváltozását elemeztük,

– *in vitro* vizsgálatainkban viszont az élő szervezetből kivett és mesterségesen életben tartott agykéregszelet mikrohálózatainak reakcióit tanulmányoztuk.

Ilyen jellegű idegrendszeri mikotoxin-vizsgálatokat eddig még nem végeztek.

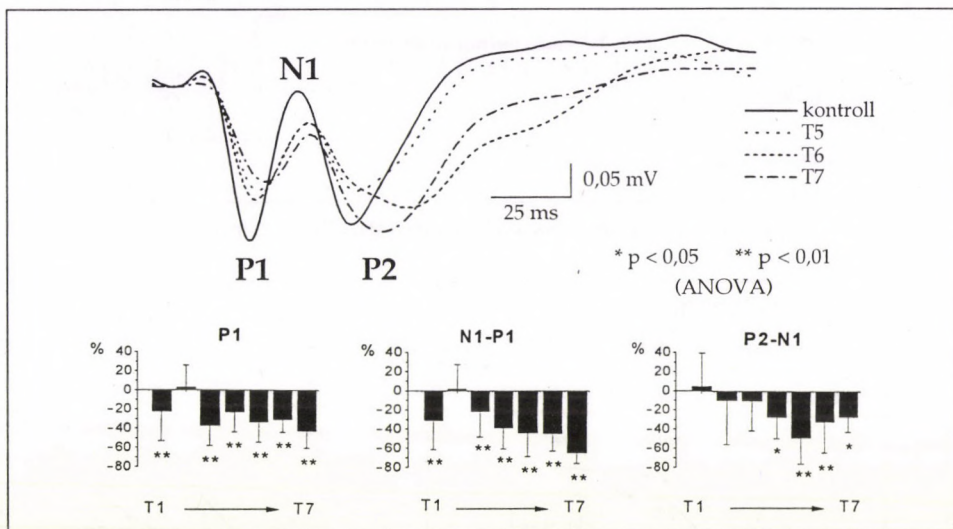
In vivo vizsgálatainkban (5. ábra) egy jól mérhető – a jobb sarokban látható – bioelektromos jel, az ún. kiváltott potenciál megváltozását elemeztük. A jelet a patkány számára releváns hangingerrel váltottuk ki, és a hallókéregbe beépített



5. ábra. Agyi elektromos aktivitás *in vivo* biomonitorozása

elektródok segítségével vezettük el. A jelet erősítés után számítógépen rögzítettük és dolgoztuk fel. A jel egyes hullámkomponenseinek csúcstól csúcsig mért nagyságát analizáltuk 24 mérés átlaga alapján.

Az állatok a toxinos tápot a 4. nap után visszautasították. A potenciálok ezzel párhuzamos változása jól látható a 6. ábrán. A kontrollgörbe a toxinterhelés előtti állapotot mutatja, a másik három, a kontrollhoz képest csökkent amplitúdójú görbe, a táplálék-visszautasítás után, az 5-6-7. napon mért válaszokat jeleníti meg. Az ábra alsó részén az egyes, betűvel jelzett hullámkomponenseknek a kontrollhoz viszonyított százalékos csökkenését ábrázoltuk az elsőtől a 7. napig. A csökkenés szignifikáns, 20–60% közötti érték.



6. ábra. Agyi bioelektromos válaszok változása fumonizin-etetés után

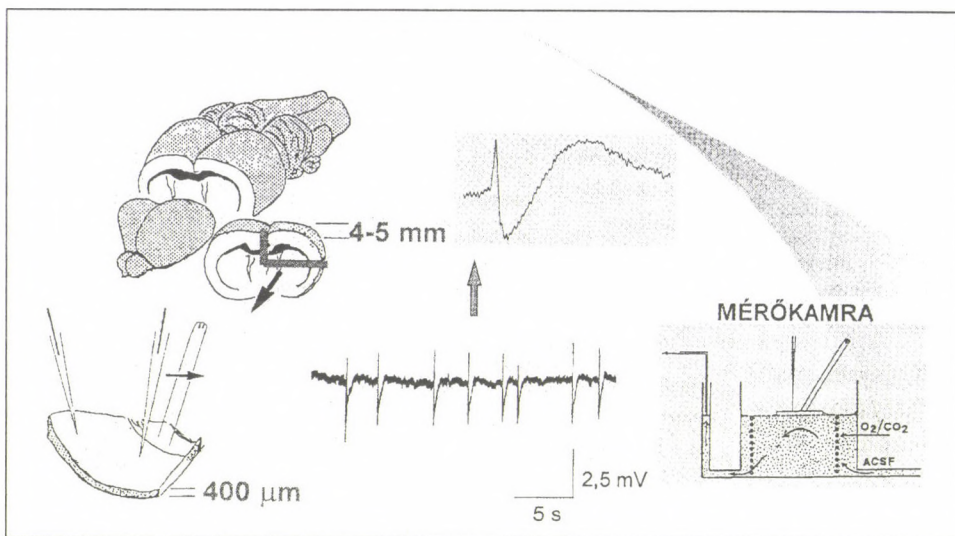
Ezek az eredmények a fumonizin-terhelés utáni szenzoros információ-feldolgozás jelentős funkcionális zavarát, vagyis a külső környezeti ingerre adott reakció megváltozását jelzik.

In vitro kísérleteinkben a fumonizin-terhelés után az állatok agykérgéből 400 mikron vastagságú szeleteket metszettünk. A mérőkamrán átáramoltatott tápoldat biztosította az agykéregszelet életben maradásának feltételeit. A túlélő modellrendszeren monitoroztuk az agykéreg lokális mikrohálózatainak spontán és kiváltott bioelektromos válaszait (7. ábra).

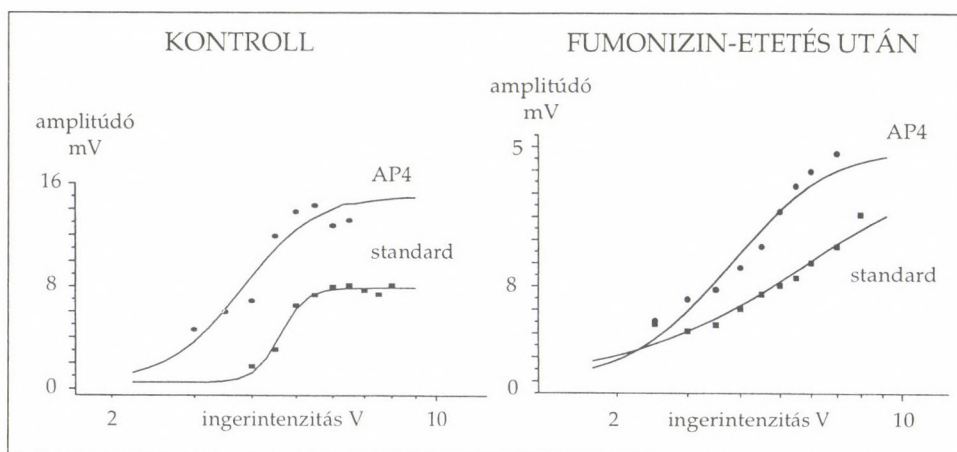
Az agyszelet elektromos ingerléssel kiváltott válaszait mind a kontrollvizsgálatokban, mind pedig a fumonizin-kezelés után kétféle módon elemeztük (8. ábra):

- a normál agyfolyadékhoz hasonló összetételű standard tápoldatban,
- egy, az agyi aktivitást fokozó anyag, a 4-aminopiridin alkalmazása során [a görbén (AP4) jelöli].

Növekvő intenzitású ingerekre növekvő amplitúdójú válaszokat kaptunk valamennyi esetben. Azonban ha a felső és az alsó grafikon Y-tengelyének léptékét



7. ábra. Agyi elektromos aktivitás in vitro biomonitorozása

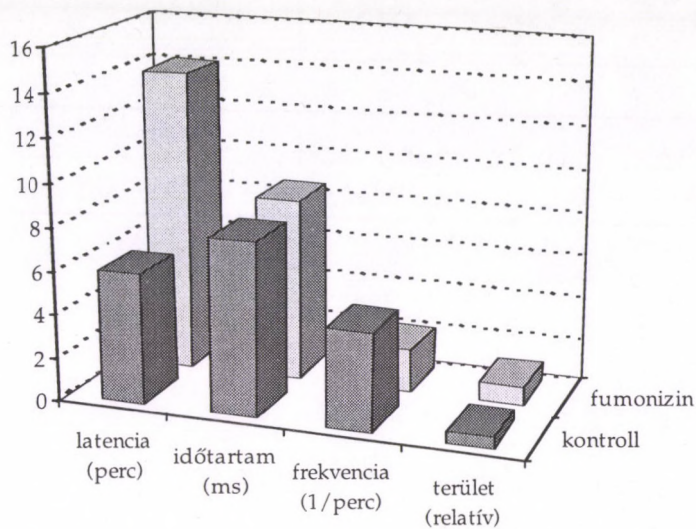


8. ábra. Agyszelet kiváltott válaszai

tekintjük, láthatjuk, hogy a kontrollnál a felső érték a tengelyen 16 mV, míg a kezeltnél 5 mV. Ez azt jelenti, hogy a bioelektromos aktivitás a fumonizin-kezelés után a harmadára csökken.

A spontán aktivitás egyes paraméterei is megváltoznak a fumonizin-kezelés után. Az oszlopdiagramon (9. ábra) látható, hogy:

- megváltozik a jelforma, amit a görbe alatti terület változása jelez,
- a frekvencia a felére csökken,
- ugyanakkor a válasz időtartama elhúzódik,
- a megjelenési latencia a kontrollhoz képest két és félszeresére nő.



9. ábra. Agyszelet spontán aktivitásának változása fumonizin-etetés után

Mindezek az idegsejthálózat szignáltranszmissziós, jelátviteli folyamatainak – eddig ki nem mutatott – kvantifikálható, mennyiségileg egzakt módon jellemezhető funkcionális anomáliáira utalnak, amelyek megelőzhetik és jelezhetik a maradandó változások lehetőségét.

Kezdeti vizsgálataink után a dózis-hatás összefüggések finomabb jellemzésével és a káros folyamatok felfüggeszthetőségének elemzésével fogunk továbblépni.

KIRÁLY ZOLTÁN

A mezőgazdaság kemizálása és az élelmiszer-biztonság

Közgazdasági és mezőgazdasági szakértők egyöntetű álláspontja ma az, hogy az emberi történelemnek kritikus korszakához érkeztünk, amikor egy fontos kihívásra, a globális élelmiszer-ellátásra helyes választ kell adnunk annak tudatában, hogy a Föld népessége folyton gyarapodik, az egy főre jutó termőterület pedig évről évre csökken. A kihívást még tetézi az a tény, hogy az életminőség javítása is központi probléma világszerte, és hogy ennek primer előfeltétele a minőségileg jobb táplálkozás és az élelmiszer-biztonság.

Élelmiszer-ellátás világméretekben

Időzzünk el ezen a ponton, és fontoljuk meg, hogy a Föld népessége hamarosan el fogja érni a 6 milliárdot. Ez az óriási szám annál is inkább figyelemre méltó, mert:

1. A szakemberek szerint nem fog jelentősen növekedni a megművelhető terület.
2. Tekintve, hogy a Föld lakosainak száma folyton növekedik, az egy személyre számított mezőgazdasági terület folyamatosan és lényegesen csökkenni fog.
3. Jelenleg nem számíthatunk arra, hogy valamely tudományos eredmény jelentősen növelné a jövőben, legalábbis a közeljövőben, a legfontosabb növények termését. Ez akkor is igaznak tűnik, ha a biotechnológia, illetve génmanipuláció forradalmi eredményeit is számításba vesszük (Vasil, 1998). A legfontosabb élelmiszer-növények terméshasznosító tényezői ugyanis szinte kivétel nélkül poligénikusan öröklődnek, azaz több géntől függenek. Sok szakember véleménye az, hogy a biotechnológia igazán ott érhet el forradalmi eredményeket, ahol a növény vagy állat megváltoztatandó tulajdonsága egy vagy kevés géntől függ. Monogénikusan öröklődik pl. a gyomirtó szerekkel szembeni tolerancia, a betegség-rezisztencia stb. Ezeken a területeken máris szép eredmények születtek (pl. egy baktérium rovarölő fehérjét kódoló gén átvitele gyapotba). A transzgénikus növények előállítása azonban meglehetősen lassú eljárás. A poligénikusan öröklődő

tulajdonságok génmanipulációs megváltoztatása jelenleg igen nagy problémákkal járó feladat.

Hogyan lehet tehát elképzelni a világ élelmiszer-ellátásának biztosítását, amikor a népesség száma ijesztően növekszik, és egyre nagyobbak az élelmiszerek minősége iránt a követelmények? Úgy tűnik, hogy a múlt eseményeiből tanulságokat vonhatunk le.

A növényi betegségek és a rovarkártételek világszerte fontos szerepet játszottak a szegénység és éhezés előidézésében. Három évtizeddel ezelőtt, amikor a világméretű éhínségre közvetlenül számítani lehetett, egy jelentős változás megmentette a helyzetet: a mezőgazdaság kemizálása (műtrágyák, peszticidek, különösen a gyomirtó szerek fokozott felhasználása) és az új búza- és rizsfajták bevezetése megteremtette a „zöld forradalmat”. Mind Ázsiában, mind Latin-Amerikában drámai módon növekedtek a termések. Egyes szakértők szerint a Marshall-terv, illetve a második világháború óta ez a legsikeresebb és legjelentősebb nemzetközi eredmény, amely az európai rekonstrukcióhoz hasonlítható, és amely a gyakorlat és a tudomány szoros kapcsolatának volt köszönhető (1. táblázat). Kérdés, e példa alapján remélhetjük-e, hogy a 21. században is megtaláljuk majd a módját annak, hogy fenntartható módon és világméretekben biztosítsuk a népesség ellátását kiváló minőségű és elegendő élelmiszerrel?

1. táblázat

Termésátlagok (tonna/hektár)

| Növény | Ország | 1950-es évek | 1990-es évek |
|------------|---------------|--------------|--------------|
| Búza | Magyarország | 1,7 | 4,7 |
| | Franciaország | 2,2 | 6,7 |
| | Mexikó | 1,1 | 4,2 |
| | India | 0,7 | 2,3 |
| Kukorica | Magyarország | 2,4 | 4,8 |
| | USA | 2,7 | 6,8 |
| | Chile | 1,6 | 8,4 |
| Rizs | Kína | 2,5 | 5,7 |
| | Indonézia | 1,7 | 4,4 |
| Paradicsom | Chile | 13,4 | 36,0 |
| Szója | USA | 1,4 | 2,3 |

Biogazdálkodás (alternatív gazdálkodás, organikus gazdálkodás)?

Mik a fenntartható mezőgazdálkodás lehetőségei 1998-ban, azaz a kelet-európai rekonstrukció és a harmadik világ számos országának felfejlődése idején? „Biogazdálkodással” vagy a még intenzívebb „kemizálással” érjük-e el céljainkat?

Önmagában egyikkel sem! Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy a jövő irányvonalát a kémiai és nem kémiai módszerek egyensúlya biztosíthatja. A nagy terméseket, illetve a produktivitás fokozódását peszticidek alkalmazása nélkül jelenleg nem lehet elképzelni, ha a gazdálkodás célja az árutermelés. Meg kell felelnünk arra a kérdésre, hogy biztonságosan mi módon küzdjük le a gyomok, kórokozók és rovarok kártételét, és hogyan növeljük a legfontosabb élelmiszer-növények termését. Ha nem helyi szempontok szerint, hanem globálisan értékeljük a helyzetet, akkor nem mondhatunk le a termések világméretű fokozásáról.

A termésfokozás előfeltétele viszont a műtrágyák és peszticidek alkalmazása – legalábbis a következő egy-két évtizedig. A kemikáliák használatát természetesen a fenntartható mezőgazdaság limitáló követelményeinek figyelembevételével lehet csak elképzelni. Ezek a követelmények röviden: a környezetmegóvás és az emberi egészség megóvása, valamint a nyereségesség (kivéve a hobbi-farmokon űzött gazdálkodást).

Lássuk az elmúlt 2–3 évtized magyar mezőgazdaságát! A termés fokozásához nagyban hozzájárult az 1960-as évek óta bevezetett kemizálás, azaz a műtrágyák és peszticidek fokozott alkalmazása. Ehhez járult még az a sajátos magyar gazdaságpolitikai siker is, amely egy kvázi piacgazdaságot engedett meg az egyéni földbirtoklás hiányában is. W. U. Chandler (1987) amerikai közgazdász ezt a magyar modellt annyira fontosnak és eredményesnek tartja, hogy szerinte ez alapozta meg a kínai mezőgazdasági reformot is. A legfontosabb növények termésátlaga Magyarországon azonos volt azokkal vagy megközelítette azokat az átlagokat, amelyek Nyugat-Európára és Amerikára voltak jellemzőek. A hazai mezőgazdaságban a műtrágya- és növényvédőszer-felhasználás mértéke is hasonló volt a nyugati adatokhoz.

Az elmúlt két évtizedben, a jelenlegi átmeneti időszak előtt, 11 kg peszticidet használtunk hektáronként. A hatóanyag általában ennek a fele, azaz 5,5 kg/ha. Jelenleg azonban, amikor az agrárrolló példátlan mértékű kinyílásnak vagyunk tanúi, a műtrágya- és peszticid-használat ijesztően csökken, remélhetőleg csupán átmenetileg.

A peszticidek aránya megközelítően a következő: 60% gyomirtó szer, 30% fungicid, 10% inszekticid. Látható, hogy a legfontosabb peszticid a gyomirtó szer, amely nem helyettesíthető más, nem kémiai módszerekkel, mert ezek költségesek és munkáigényesebbek – legalábbis jelen ismereteink szerint. Már csak emiatt is belátható az a megállapítás, hogy a nem kémiai növényvédelmi módszerek nem jelenthetnek áttörést a növényvédelemben, és hogy a biogazdálkodás az árutermelő mezőgazdaságban egyelőre nem járhat sikerrel. Ez az elképzelés túlságosan idealisztikusnak látszik.

Sajnos az elmúlt két évtizedben a peszticidek száma és a hatóanyagok száma is növekedett világszerte, így Magyarországon is. Ezért a közhangulat a környezetbarát, új növényvédelmi eljárások bevezetését követeli. A közvéleményt formáló média az új szereket – tekintve, hogy mesterséges készítmények – igen károsnak tartja. Így a közvélemény is ellene van minden új peszticid bevezetésének. Ezzel szemben az az igazság, hogy a hatósági szabályozások következtében

az újabb peszticidek sokkal kevésbé toxikusak, mint a régi, pl. 30-40 évvel ezelőtt használt növényvédő szerek. Az Európai Közösség normái is kritikusak ezen a téren, így a szakemberek arra számítanak, hogy a jövő század első felében a növényvédő szerek toxicitása jelentősen csökkenni fog. Az új peszticidek a fenntartható mezőgazdaságot limitáló követelményeknek lényegesen jobban felelnek majd meg, mint a régi szerek.

A mezőgazdaság kemizálásától irtózó biogazdálkodás nem számol egy olyan fontos tényezővel, a mikotoxinok élelmiszer-növényekben való felszaporodásával, amely a védekezés elmaradása miatt következhet be (fuzárium-toxinok, aflatoxin). Érdekes, hogy erre a veszélyre az EU előírásai sem fordítanak kellő figyelmet, pedig a le nem küzdött növénykórokozó gombák toxinjai súlyos ember- és állatmérgezéseket okozhatnak, ha a szennyezett élelmiszer-növényekkel a szervezetbe kerülnek.

Túlzott peszticid-használat

Azt is számításba kell azonban venni, hogy az ún. *high input* gazdálkodásban a peszticidek felhasználása eltúlzott és pazarló. A környezetvédők emiatt joggal aggodalmaskodnak. Magyarországon a közelmúltban ennek a ténynek kettős oka volt. Az egyik a nagyméretű gazdaságok biztonsági szempontja volt. Az igen nagy méretű kultúrákban egy-egy apró védekezésbeli tévedés óriási károkat okozhatott. Ezeket elkerülendő, túlzott mennyiségű peszticidet alkalmaztak még akkor is, ha a gazdaságok növényvédelmét jól képzett növényvédelmi mérnökök irányították. A másik ok az volt, hogy a járványok, rovar-gradációk előrejelzése sajnos világszerte, így nálunk is gyermekcipőben jár. Az elmúlt évtizedek alatt azt is be kellett látni, hogy a kémiai módszerek felváltó biológiai és egyéb eljárások nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket – legalábbis szántóföldi viszonyok között – drágaságuk és bizonytalanságuk miatt. Az igazi áttörést, a peszticid-használat jelentős redukálását csak a rezisztencia-nemesítéstől lehet remélni. Ebben az esetben is számolni kell bizonyos hátrányokkal: a rezisztencia legtöbb esetben nem tartós tulajdonság, nem tartható fenn, hiszen a kórokozók, kártevők folyton új törzseket, rasszokat hoznak létre a populációkban észlelt variabilitás és szelekció együttes hatására. Ezt a közelmúlt tapasztalatai világosan bizonyítják. A rozsda-rezisztencia, fitoftóra-rezisztencia csupán 7–10 évig tart egy-egy új növényfajta esetében. Az új kórokozó törzsek előbb-utóbb megbetegítik az új rezisztens fajtákat. Az elmúlt években észlelték azt a meglepő tény is, hogy a *Bacillus thuringiensis* rovarölő toxinja ellen hihetetlenül rövid idő alatt alakult ki rezisztencia a rovarokban. A környezetvédőket megcáfolta a jelenség, mert ők naív módon azt hitték, hogy csak a mesterségesen előállított peszticidek azok, amelyek ellen ellenálló képesség alakulhat ki a kártevőkben, a természetes biopeszticidek ellen nem, mert azok – tekintve, hogy természetesek – egyben „jók” is. Mindez azt is jelenti, hogy a rovarölő baktériumtoxin génjét hordozó transzgénikus gyapotfajták napjai is meg vannak számolva. Ezen tények alapján érdemes megfontolni azt, hogy a közhiedelemmel

ellentétben nem lehet egyenlőségi jelet tenni a „természetes” anyagok vagy eljárások és a „jó” vagy „biztonságos” anyagok vagy eljárások közé.

Valóban veszélyt jelentenek a peszticidek a környezetre és az emberi egészségre?

Szeretném felhívni a figyelmet egy hosszú távú kísérletre, amely azt bizonyítja, hogy a kémiai növényvédelmi eljárások nem olyan módon veszélyesek a környezetre, mint ahogyan azt egyesek állítják vagy hiszik. A Növényvédelmi Kutatóintézet entomológus és botanikus szakemberei tíz éven át szabadföldi kísérleteket és megfigyeléseket folytattak alma- és kukoricakultúrákban. Kiderült, hogy a peszticidek csupán átmenetileg tesznek kárt a hasznos, közömbös és kártevő rovar-populációkban és más organizmusokban, és hogy a fajok populációi meglepően gyorsan regenerálódnak (Mészáros et al., 1984; Mészáros et al., 1984)). Több mint ezer rovarfaj változását ellenőrizték a peszticidek hatásával kapcsolatban, és arra a következtetésre jutottak, hogy egyetlen faj sem tűnt el a természetből a kémiai növényvédelem miatt. Nem volt „csendes tavasz” még tíz év elmúltával sem. A rovarfajokban bekövetkezett időleges pusztulás a nem kezelt környezetből igen gyorsan regenerálódott, illetve kiküszöbölődött.

A másik kérdés, amelyet érdemes mérlegelni, az élelmiszerekben lévő peszticid-maradványok káros hatása az emberek és a magasabb rendű állatok egészségére. Az a vélemény, hogy a növényvédőszer-maradványok, amelyek az élelmiszerekben olykor kimutathatók, egészségrontók, teljesen általános. Ames kutatásai (Ames et al., 1990) azonban nem támasztják alá ezeket az általánosan elfogadott véleményeket. Ames kiemeli, hogy az amerikai lakosság élelmiszereiben olyan természetes anyagok vannak, amelyek toxikusak a mikroorganizmusokra, a magasabb rendű állatokra és az emberre nézve is. Ezek a természetes, de toxikus anyagok különösen akkor szaporodnak fel a növényekben, ha stressz vagy betegség (fertőzés) éri őket. Ames „természetes peszticideknek” nevezi ezeket a vegyületeket, mert a növényekben felszaporodva védekező hatást fejthetnek ki mikroorganizmusok és rovarok ellen. Nevezett kutató kiszámította azt, hogy az amerikai népesség átlagban 1,500 mg „természetes peszticidet” fogyaszt el naponta a táplálékokkal, de ezeket a toxikus tápanyag-alkotórészeket a szervezet antioxidánsai révén lebontja, illetve közömbösíti. Megállapításaiban az a meglepő, hogy az említett 1,500 mg tízezerszer nagyobb mennyiség, mint a tápanyagokban naponta elfogyasztott peszticid-maradvány, amelynek egy része ugyancsak toxikus. A szermaradvány naponta csupán 0,09 mg-ot tesz ki! Ez az első kísérletes adat arra nézve, hogy – reálisan szemlélve a tényeket – mit is jelentenek valójában a „toxikus” anyagok a táplálékban, és hogy a szermaradványok valójában nem jelentenek veszélyt az emberre, ha mérgező hatásukat összehasonlítjuk a tápanyagok természetes anyagaival. Megjegyzendő, hogy Ames az első, aki az emberi táplálékok természetes alkotórészeit (anyagait), azok toxicitását állatkísérletekben vizsgálta, és összehasonlította a szermaradványok toxicitásával.

Nagy dózisos toxikológiai kísérletek szerint mind a természetes, mind a szintetikus kemikáliáknak mintegy 50%-a mutagén és karcinogén. Az emberi szervezet azonban közömbösíteni tudja ezeket az anyagokat, ha egészséges állapotban van, és az ún. antioxidáns-kapacitása normális. Fontos megérteni azt, hogy mind a nagy mennyiségekben előforduló természetes toxikus kemikáliákat, mind a sokkal kisebb mennyiségben a táplálékban jelenlévő szintetikus kemikáliákat (peszticid-maradványokat) hatástalanítják az antioxidánsok. A szermaradvány-veszély tehát humánegészségügyi szempontból elhanyagolhatóan kicsinek látszik. Különösen érdekes az a szempont, amely szerint a vegetáriánusok fokozottan ki vannak téve a „természetes” toxikus anyagok veszélyének. Ha ezeket a toxikus anyagokat a szervezet közömbösíteni képes, miért kell aggódni amiatt, hogy a szélsőségesen kis mennyiségben előforduló peszticid-maradványok veszélyt jelentenek az emberi egészségre? Igen fontosnak látszik az, hogy a jövőben újra tájékoztassuk a nagyközönséget és a médiát a táplálkozásban ezen új eredményeiről.

Azt az amerikai véleményt is fontolóra kell venni, hogy a modern táplálkozásban a nagy mennyiségű gyümölcs- és zöldségfogyasztást a nyugati világban jelentős részben a peszticidek alkalmazása tette lehetővé, mert éppen ennek a következtében vált általánossá az, hogy a nyugati átlagember is rendszeresen és nagy mennyiségben fogyassza ezeket a táplálékokat, amelyek a természetes toxikus vegyületek mellett közismerten nagy arányokban tartalmaznak antioxidánsokat is. Az ma már általánosan elfogadott, hogy a sok gyümölcsöt és zöldséget tartalmazó diéta éppen magas antioxidáns-szintje miatt csökkenti a rák- és egyéb betegségek veszélyét. Mindez az antioxidáns-tartalom magas szintjének köszönhető. Ezt a tényt általában alig veszik tudomásul, amikor a peszticidek használatának visszaszorításáról vagy megszüntetéséről beszélnek.

Integrált növényvédelem (IPM)

Néhány szót kell ejteni a divatos integrált védekezésről („*integrated pest management*”, IPM) is. Ez a fogalom azt jelenti, hogy különböző, kémiai és nem kémiai növényvédelmi módszereket alkalmazunk a fenntartható mezőgazdaságban, és ezeket a módszereket mintegy integráljuk. Ma általános a meggyőződés, hogy ez a növényvédelem új és racionális útja. Egy példát említek. Mi az MTA Növényvédelmi Kutatóintézetében a paradicsom fuzáriumos hervadásának leküzdésével foglalkoztunk, ami a betegség különös jellege miatt világszerte nehéz feladat. Az egyik legjobb fungicid, a Benlate (benomyl) csupán részleges védelmet biztosít a kórokozó fertőzésével szemben. Előző kutatásaink során láttuk, hogy a növényi szervek juvenilitása (fiatal fiziológiás állapota) nagyban hozzájárul a juvenilis szövetek, szervek ellenállóságához, de csak nekrotróf kórokozókkal szemben. Ilyen kórokozó a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* is. A növény juvenilitását többféle módszerrel fokoztuk: pl. citokinin hormon-kezeléssel, a csúcsrügy eltávolításával vagy egyszerűen nagy adagú NO₃-nitrogén-műtrágyázással

vagy a nitrogénnek a tápoldatba való juttatásával. A nagy adagú nitrátnitrogénes kezelés, ha harmóniában volt a többi tápelemmel, mindig fokozta az ellenállóságot, azaz visszaszorította a nekrotikus levélfoltok számát, és csökkentette a méretét, amiket a nekrotróf kórokozók idéztek elő. Azt is bizonyítottuk, hogy a nagy adagú nitrogén növelte a levelek citokinin hormon-tartalmát (Ádám et al., 1984). Tyihák és munkatársai (1988) viszont rámutattak arra, hogy a nagy mennyiségben adagolt nitrogén növeli a levelek trigonellin- és kolintartalmát. A trigonellin (metil-nikotinsav) az indukált rezisztencia stimulátorának tekinthető, amely e tekintetben hasonló a jól ismert rezisztenciastimulátor izonikotinsav (INA) hatásához. Mindezek alapján fel lehet tételezni, hogy a nitrogénnel kezelt növények fokozott rezisztenciájának két fő oka van:

1. rezisztensek, mert a megemelt citokinin-szint következtében juvenilibbek;
2. rezisztensebbek, mert a trigonellin-tartalmuk nagyobb.

Mindezekon kívül a védekezésben egy további faktort is figyelembe vettünk. Meszeztük a kissé is savas talajokat, mert előző irodalmi adatok alapján tudtuk, hogy a savas talaj kedvez a *Fusarium* gomba növekedésének. Meszezéssel, illetve a talaj-pH növelésével a kórokozó gombát vissza lehet szorítani.

A mi integrált programunkban egy kombinált peszticid-nitrát-meszezéses eljárással a betegséget teljesen le tudtuk küzdeni (Sarhan, Király, 1981). A 2. táblázat mutatja a *Fusarium*-hervadási indexe és a szállítóedények elszíneződésének mértéke alapján az integrált védekezés hatásosságát. A nitrát-nitrogént 420 ppm töménységben adagoltuk, a benomyl töménysége 300 mg/liter volt, és a meszezést $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -vel végeztük úgy, hogy a talaj pH-ja 7,6 értéket mutatott. Ebben az integrált módszerben tehát a gomba gátlásán kívül a gazdanövény (paradicsom) betegség-rezisztenciáját is fokoztuk. Az integrált védekezés a jövőben főleg ilyen irányba fog fejlődni. Más betegségek esetében is kombinálni kell a kórokozó elpusztítását a növény rezisztenciájának fokozásával.

2. táblázat

A NO_3 -nitrogén, benomyl és a talajmeszezés hatása a paradicsom fuzáriumos hervadására

| Kezelések | Fusarium okozta hervadási index | Szállítóedény- elbarnulás %-ban |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Kontroll (vizes kezelés) | 77,5 | 90,5 |
| Nitrát-N + benomyl | 2,5 | 11,9 |
| Nitrát-N + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 12,5 | 23,3 |
| Benomyl + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 8,5 | 20,5 |
| Nitrát-N + benomyl + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | 0,0 | 0,0 |

A hervadási index 1–100 skálán értékelve. 0 = nincs hervadásos betegség, és 100 = elhalt növények. Az edénybarnulás százalékos értékei a szár hosszúságához viszonyított szállítóedény-elbarnulás hosszúsága alapján voltak számolva.

Helyes növénytaplálás – eltúlzott műtrágyázás

A mezőgazdasággal kapcsolatos tudományos kutatások egyik legfontosabb felfedezése az volt, amely Liebig nevéhez fűződik, és amely nyilvánvalóvá tette, hogy mesterséges módon, a tápelemek adagolásával is lehet fokozni a terméseket. Ennek a ténynek köszönhető nagyrészt, hogy a fejlett országokban a termések csaknem megháromszorozódtak az utóbbi 40-50 évben, és hogy a nyugati világ segíteni tud az élelmiszerhiányon számos afrikai és ázsiai országban. A műtrágyák túlzott alkalmazása azonban veszélyt jelenthet a növényre és a táplálkozó emberre egyaránt, és hozzájárulhat a talajok elsavanyodásához. Erre a tényre helyesen hívták fel a figyelmet a környezetvédők és az egészségvédők. Az általuk ajánlott megoldás azonban nem követhető. Különösen érvényes ez a növények nitrogéntáplálásával kapcsolatban. A műtrágyázás-ellenes körök, amelyeknek Borlaug (1998) szerint túlzottan nagy befolyásuk van a Világbankra, az US AID-re és az egyéb befolyásos alapítványokra, azon a véleményen vannak, hogy a növénytaplálást főleg istállótrágyázással és komposztálással kell megoldani. Borlaug szerint a globális nitrogénszükségletnek csupán 20%-át, az USA-ban 30%-át lehetne istállótrágyával pótolni, tehát az elképzelés megvalósíthatatlan. A jelenlegi 1,3 milliárdos szarvasmarha-állománynak 4 milliárdra kellene felszaporodnia, ha a növények nitrogénellátását istállótrágyával kívánnánk biztosítani. Ilyen óriási mennyiségű állatállomány belátható időn belül nem fog rendelkezésre állni. Ha az USA-ban a jelenlegi élelmiszer-termelést a 40-50 évvel ezelőtti agrotechnikával kívánnák előállítani, azaz nem vagy alig alkalmaznának műtrágyákat és növényvédő szereket, akkor Amerikában a mostani szántó- és egyéb agrárterület két és félszeresére lenne szükség. Ehhez az agrárterülethez csak úgy lehetne hozzájutni, ha az amerikai erdők 60%-át kivágnák, vagy a rét- és legelőterület 73%-át feltörnék. Borlaug szerint Kínában is, ahol a 30 évvel ezelőtti alkalmazott technológiában a kemizálás csaknem nulla volt, háromszor akkora termőterületre lenne szükség, mint amennyivel jelenleg rendelkeznek. Manapság Kínában a városiasodás terjedése miatt a termőterület jelentősen csökken, Amerikában pedig évente kétszer akkora terület kerül ki a mezőgazdasági termelésből, mint New York város óriási területe.

A környezetvédők tévednek abban is, hogy amikor a káros nitráthatásról beszélnek, akkor hallgatólagosan azt hitetik el a tájékozatlan nagyközönséggel és a dilettáns média-szakemberekkel, hogy az istállótrágyázás hatása jó, mert „természetes”, a műtrágyázás azonban rossz, mert „mesterséges”, holott a talajban a nitrátkimosódás mindkét esetben előfordul. Ha a nitrátelvándorlás nagymértékű, és a felhalmozódott nitrát bizonyos növényekben (pl. sárgarépa) nagy mennyiségű, az valóban káros lehet, akár istállótrágyából, akár műtrágyából származik a nitrogén. Ebben az esetben nem tiltásra, hanem szabályozásra van szükség. Borlaug különösen veszélyesnek tartja az afrikai élelmiszer-ellátás súlyos hiányosságait, és a segítségnyújtás fő problémájának tartja azt, hogy a túlzó környezetvédők befolyása miatt a tájékozatlan világbanki és más hitelforrások nem adnak támogatást a modern, kemikáliákat is alkalmazó technológiák elterjesztésére.

Pedig a globális élelmiszer-produkció fokozására az újabb előrejelzések ismételt felhívják a figyelmet. Eszerint 21-22 év múlva, 2020-ban a megszületett emberek 90%-a egy ún. fejlődő országban éli majd le az életét nagyon szegény körülmények között, nagy valószínűséggel egy rosszul működő törpebirtokon. Ha az életminőséget csak kicsit is emelni kívánjuk, akkor elkerülhetetlen a fejlett termelési technológiák (műtrágyák, peszticidek, új fajták, vízmegőrző talajművelés stb.) alkalmazása. Magyarországon is szükség van az életminőség javítására, hiszen az élelmiszer-fogyasztás nálunk is csökkent: egy FAO-elemzés szerint 1990–1995 között az egy főre jutó naponta elfogyasztott energiamennyiség 3500 Kcal-ról 2600 Kcal-ra csökkent. A kilogrammmokban és literben kifejezett évi átlagos élelmiszer-fogyasztás csökkenését a 3. táblázat mutatja.

3. táblázat

Egy fő átlagos évi élelmiszer-fogyasztásának tömege Magyarországon

| Év | Kilogramm | Liter |
|------|-----------|-------|
| 1990 | 571 | 298 |
| 1991 | 547 | 292 |
| 1992 | 556 | 283 |
| 1993 | 532 | 264 |
| 1994 | 513 | 260 |
| 1995 | 493 | 249 |

Kemizálás és élelmiszer-biztonság

Az életminőség javítása tehát megköveteli az intenzív termelési technológiák folytatását, ahol kell, bevezetését. Ez azt jelenti, hogy a helyes, szabályozott kemizálás nem kerülhető el. Az élelmiszer-biztonság követelménye ugyancsak szabályozást, nem pedig tiltást igényel. A két szempont összehangolása képezi jelenkorunk egyik fontos kihívását, amelyre helyes választ kell adnunk.

Nagyon fontos a figyelemfelkeltő, tárgyilagos környezetvédelem és ember-, állat-egészségvédelem álláspontja. A modern élelmiszer-tudomány és élelmezéstudomány felhívja a figyelmet arra, hogy az élelmiszereknek hármass szerepe van. Az élelmiszer lehet:

- energia- és tápanyagforrás,
- élvezeti szer,
- egészségmegőrző hatású.

A kemizálás ezeket az értékeket nyilvánvalóan nem teheti tönkre, de még csak nem is csökkentheti. A tárgyilagos mérlegelésnek és a szakszerű szabályozásnak ezen a ponton igen nagy a szerepe, hatása. A köztudat és a szakértők között olykor jelentős véleménykülönbség van. Erre utal a 4. táblázat, amely szerint nagy el-

térés van a szakértők és a közvélemény között azokat a kockázatokat illetően, amelyek az élelmiszer-fogyasztással járnak.

A szóban forgó kihívásra adott helyes válasz csak az lehet, hogy az agrártudományok és az élelmezés- és élelmiszer-tudományok szempontjai a tudományos eredmények alapján szabályozással összehangolhatók, és a termésfokozást biztosító modern technológiák nemcsak papíron, hanem a valóságban is környezetbarátok és egészségmegőrzők lehetnek.

4. táblázat

Az élelmiszer-fogyasztással járó kockázat fontossági sorrendje

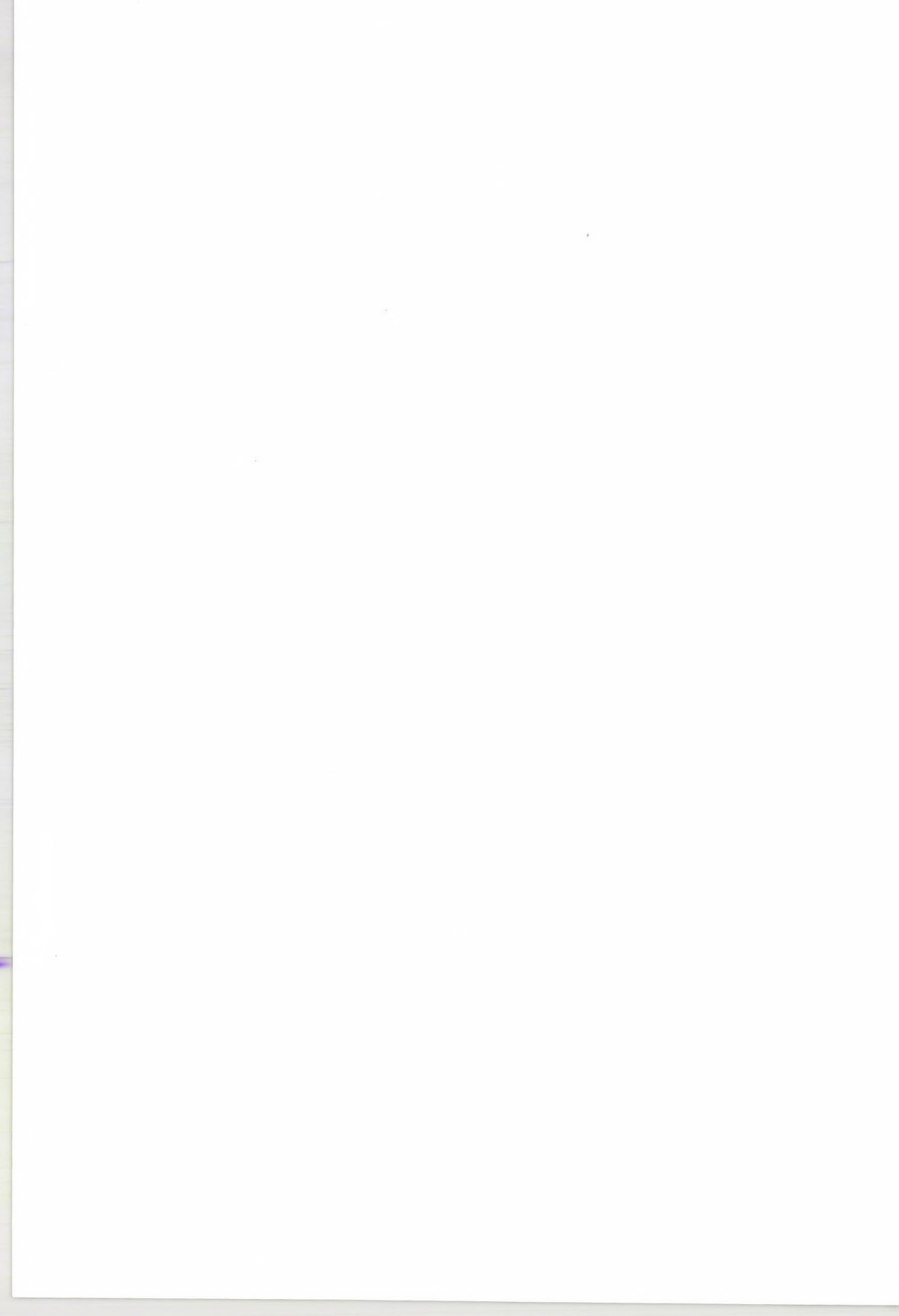
| A szakértők szerint | A köztudat szerint |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Mikrobiológiai biztonság hiánya | 1. Peszticidek |
| 2. Túltápláltság | 2. (Új) vegyi adalékanyagok |
| 3. Természetes eredetű toxinok | 3. Zsír- és koleszterin-fogyasztás |
| 4. Agrokemikáliák | 4. Mikrobás romlás |
| 5. Élelmiszer-adalékanyagok | |

Irodalom

- Ádám, A., Barna, B. and Király, Z.: Effect of nitrate nitrogen nutrition on cytokinin content of tomato leaves. In: *Fight Against Hunger through Improved Plant Nutrition*, Vol. 3. Ed. by E. Welte and I. Szabolcs. Int. Sci. Centre Fertilizers, Belgrade, Göttingen, Vienna, 1984. 143–146.
- Ames, B. N., Profet, M. and Swirsky Gold, L.: Dietary pesticides (99,99% all natural). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 87 (1990) 7777–7781.
- Borlaug, N. E.: *Food security, plant pathology, quarantine*. Contr. to Public Discussion Forum on Global Food Security. 7th Int. Congr. Plant Pathology, Edinburgh, Scotland, 1998.
- Chandler, W. U.: Designing sustainable economies. In: *State of the World 1987*. Ed. by Linda Starke. W. W. Norton and Co., New York, London, (1987), 177–195.
- Mészáros, Z. (ed.) et al.: Results of faunistical studies in Hungarian maize stands. *Acta Pytopath. Hung.*, 19 (1984) 65–90.
- Mészáros, Z. (ed.) et al.: Results of faunistical studies in Hungarian apple orchards. *Acta Phytopath. Hung.*, 19 (1984) 91–176.
- Sarhan, A. R. T. and Király, Z.: Control of Fusarium wilt of tomato with an integrated nitrate-lime-fungicide regime. *Acta Phytopath. Hung.*, 16 (1981) 9–14.
- Tyihák, E., Sarhan, A. R. T., Cong, N. T., Barna, B. and Király, Z.: The level of trigonelline and other quaternary ammonium compounds in tomato leaves in ratio to the changing nitrogen supply. *Plant and Soil*, 109 (1988), 285–287.
- Vasil, I. K.: Biotechnology and food security for the 21st century: A real-world perspective. *Nature Biotechnol.*, 16 (1988) 399–400.

**AZ ORVOSI TUDOMÁNYOK
ÉS A BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK**
együttes ülése

AZ ORVOSTUDOMÁNYI EGYETEMEKEN MŰKÖDŐ TÁMOGATOTT KUTATÓCSOPORTOK
ÚJABB EREDMÉNYEI



Genom-instabilitás és emberi patológia

A genetikai stabilitás a klasszikus, tradicionális örökléstan egyik alaptétele. A stabilitás az alapja a fajok specifitásának és az egyedi identitásnak egyaránt. A mutációt is ebből a tételből kiindulva definiáljuk, amikor azt mondjuk, hogy a mutáció egy stabil állapotból való hirtelen átmenet egy másik stabil állapotba valamilyen (külső) mutagén ágens hatására.

Metodikailag megfogható, vizsgálható genetikai instabilitás először azon kórképekkel kapcsolatban fogalmazódott meg, amelyekben *spontán* is előfordultak olyan kromoszomális aberrációk, amelyeket egyébként csak erős sugárhatás vagy mutagén kemikáliák idéznek elő. Ezekben a betegségekben (ataxia telangiectasia, Bloom-syndroma, Fanconi-anaemia stb.) fokozott a rákos daganatok kialakulásának kockázata, ami ugyancsak instabilitásra utal. A DNS-hibridizációs technikák kibontakozása azután, főként az elmúlt 7-8 évben, jelentősen átalakította a genom stabilitásáról vallott nézetünket. Olyan új fogalmak honosodtak meg (ugráló gének, mozgó DNS, tandem ismétlődésű szekvenciák repeat-szám polimorfiaival, dinamikus mutáció stb.), amelyek mindegyike összefüggésbe hozható az instabilitással. Az instabilitás fogalma viszont olyan mechanizmusokkal került kapcsolatba (triplet-repeat expanzió, uniparentális disomia, genomiális imprinting, homológ-nonhomológ rekombináció stb.), amelyek betegségeket okoznak, s közvetlen vonatkozásuk van az emberi patológiával.

Mindez azt jelenti, hogy a stabilitás koncepcióját egyre inkább felváltja egy olyan elképzelés, amely az emberi szervezet normális működését, az egészséget dinamikus egyensúlyként fogalmazza meg a genom (génállomány és nem kódoló szekvenciák) és a környezet kölcsönhatásában, amelyben meghatározó szerepet játszik a genom stabilitását folyamatosan őrző repair mechanizmus.

Munkacsoportunk tevékenységét is ez a koncepció orientálja. E koncepció fogja össze azt a négy – két citogenetikai és két molekuláris genetikai módszerekre épülő – programot, amelyekről e rövid beszámolóban szó lesz.

Korai centroméra-szétválás elemzése mutagén tesztekben

Kromoszómatörések vizsgálata standard módszer nemcsak a kromoszóma-instabilitással jellemezhető, a bevezetőben már említett kórképekben, hanem a környezeti ártalmak mutagén tesztelését célzó vizsgálatokban is. Az eredmények interpretálása körültekintő judiciumot, minél több végponton végzett értékelés bevonását feltételezi.

Ilyen megfontolás alapján végeztünk megfigyeléseket a kromoszómák korai centroméra-szétválásáról (az angol terminológia alapján: PCD). A PCD pontos mechanizmusa ugyan nem ismert, de néhány észlelet felvetette, hogy instabilitási paraméterként is érzékelhető. Ezért összevetettük a PCD-t a standard jelként elfogadott kromatid és kromoszóma típusú törékenységgel. Az eredmények szerint a kezeletlen és methotrexáttal indukált limfocitakultúrákban elfogadható egyezést mutat a PCD és a törések gyakorisága. Ebből arra lehet következtetni, hogy a PCD instabilitási markerként is felfogható. A kérdés gyakorlati jelentőségét aláhúzza az a tény, hogy jelenleg 3 program fut intézetünkben, amelyekben a kromoszóma-instabilitás megítélésében a PCD-t is értékeljük. Ezek a programok várhatóan további adatokat fognak szolgáltatni a PCD és a genom-instabilitás közti összefüggés kérdésében.

Neurológiai betegségek génjeiben a bázishármas ismétlődések polimorfizmusa

Az elmúlt évek vizsgálataiból megtudtuk, hogy az emberi genom 36%-a 2–10 vagy pár száz bázisból álló szekvenciák tandem szerű ismétlődéséből áll. Ezeknek a mikro-, ill. miniszatellitáknak nevezett szekvenciáknak a pontos szerepe nem ismert, s ma is az egyik legelfogadottabb elképzelés, hogy az evolúciós fejlődés mintegy kövületeként visszamaradt, jelentőség nélküli degradációs elemekről van szó. A legújabb megfigyelések azonban arra utalnak, hogy jelenlétük nem is jelentéktelen. Ezek a dadogó szakaszok ugyanis homológ és nemhomológ kromoszómák rekombinációs forrópontjai, továbbá kapcsolatba hozhatók a rákképződéssel (mikrosatellita-instabilitás, mismatch és colon-carcinoma).

A kérdésnek a bázishármas ismétlődések (triplet-repeats) 6-7 évvel ezelőtt kezdődő érája különösen nagy klinikai jelentőséget adott. Ma már kb. 12 neurodegeneratív betegség sorolható az időközben triplet-repeat expanziós betegségecsoportként elnevezett osztályba. Ezek közősek abban, hogy *génen belül* – intronálisan vagy kódoló régióban – lelhető fel a triplet-repeat, s hogy a mutáció – mint vadonutúj mutációtípus – a tripletszám megsokszorozódásaként írható le. Normális egyénekben a tripletszám néhány tízes nagyságrendű, betegségekben ennek sokszorososa. Minél nagyobb a tripletszám, annál instabilabb a szakasz további expanzióval szemben, s annál súlyosabb a klinikai kép (dinamikus mutáció).

A tripletszám polimeráz láncreakcióval (PCR) meghatározható. Intézetünkben ezüstözéses detektálást állítottunk be. A módszer diagnosztikus célra történő beállítására meg kellett határozni a házi standardot. Ennek során – meglepetésre – a hazai egészséges populációmintában a vizsgált négy gén egyikének, a spinocerebelláris ataxia I gén mikroszatellita régiójának tripletszámában eltérést találtunk egy amerikai tanulmányban szereplő (kaukázusi és ázsiai mintákat összegző) adatokhoz képest. Az észlelet nagyobb esetszámon való megerősítése folyamatban van, egyelőre nem vethető el a feltételezés, hogy etnikai vagy geográfiai eltérésről lehet szó.

Mitokondriális DNS-deléció vizsgálata újszülöttkori kadaver agymintákban

Néhány évvel ezelőtt nagy visszhangot váltott ki két munkacsoport közleménye, ami szerint az életkor előrehaladásával az agy különböző régióiban felszaporodik egy mitokondriális (mt) DNS-deléció (common deletion). Ez a jelenség, mint az ember leggyakoribb szomatikus mutációja, instabilitásra utal, s kapcsolatba hozható az *időskori* neurológiai funkcióromlással.

Ebből kiindulva kezdtük el perinatálisan meghaltak agymintáit vizsgálni: kimutatható-e a deléció az *élet kezdeti szakaszában* is? A vizsgálatra PCR-t alkalmaztunk. A módszer lényege, hogy egy elegyben 3 primerrel amplifikálva az intakt és deletált DNS-ről egymástól eltérő hosszúságú termék keletkezik. A kétféle amplifikátum arányát szemikvantitatív rendszerben határozzuk meg: együtt fut a normális és a deletált DNS, s arányukra a termék megjelenéséből/hiányából következtetünk egy hígítási sor mentén.

Eredményeink azt mutatták, hogy noha a felnőttkori mintákhoz viszonyítva kisebb arányban, de minden vizsgált újszülött agymintájában találtunk deletált mtDNS-t. Ez a hézagpótló adat egyelőre nehezen értelmezhető, de mindenképpen figyelembe kell venni, hogy súlyosan beteg, intenzíven kezelt s meghalt újszülöttekről van szó. A kérdés gyakorlati jelentőségét éppen ez adja: ha a mtDNS szomatikus mutációját a perinatális patológia, ill. az intenzív kezelés okozta, akkor az intenzíven kezelt és túlélő gyermekek utóképei (szellemi, mozgásszervi rendellenességei) részben magyarázatot nyernének, ami nagy jelentőséggel bírna a perinatális patológián átesett újszülöttek károsodásának értelmezésében s talán megelőzésében is.

Kromoszomális mozaikosság szegregációja

Ez az esetbemutató azt illusztrálja, hogy a klinikai genetikus egy-egy egyén/család vizsgálatával alapkérdésekig juthat el.

Egy házaspár első (leány)gyermekének a kromoszoma-vizsgálata a vérsejtek egy részében (mozaikformában) kis marker kromoszómát mutatott. A mozaikos-

ság a genetikai alaptanok szerint posztzigotikusan, tehát a magzati fejlődés során jön létre. Éppen ezért volt nagyon meglepő, hogy ugyanezt a markert láttuk – ugyancsak mozaikformában – a második (fiú) gyermekben is. Alaposan szemügyre véve most már a családot, a gyermekek külső jellegzetességei közül néhányat fel lehetett fedezni – lényegesen enyhébb formában – anyjukban is. Ennek alapján vártuk, de mégis meglepve konstatáltuk, hogy a mozaikosság jelen volt – igaz, kisebb arányban – az anyában is, sőt – a szokásos 15 mitózis helyett itt már több százat értékelve – elenyésző százalékban a nagypapában is. A mozaikosság aránya a szegregáció során tehát fokozódott. Itt tehát az instabilitásnak egy sajátos transzgenerációs formájáról lehet szó, s a marker eliminálásának csökkenő hatékonysága akár instabilitási anticipációként is interpretálható.

Összefoglalásként az itt röviden vázolt programok kezdeti tapasztalataiból az máris levonható, hogy az emberi patológia számos területének vizsgálatában elkerülhetetlen a genom instabilitásának szem előtt tartása, s hogy a genom stabilitásáról vallott eddigi felfogásunk számos területen újraértékelendő. A genetikai betegségek jobb megértése, majdani esetleges kezelése egyre nagyobb hangsúllyal igényli a humán patológia ilyen alapról való megközelítését.

Új endogén diuretikus anyagok szerepe a keringés szabályozásában ép és kóros körülmények között

Az endogén diuretikus vizelethajtó anyagok, mint a nátriumürítést fokozó hormonok (atrial natriuretic peptide = ANP, brain natriuretic peptide = BNP), az adrenomedullin (ADM) és az ouabain (ouabain-like compound = OLC), értágító, nátrium- és vizelethajtó hatásuk révén fontos szerepet játszanak az extracelluláris tér és a vérkeringés szabályozásában. Utóbbi időben a figyelem előterébe kerültek azok a kóros állapotok (hypertonia, szívizom-hypertrophia, keringési elégtelenség), melyekben az endogén diuretikus anyagok fokozott elválasztása része lehet a szervezet kompenzáló mechanizmusainak.

Munkacsoportunk (MTA–SOTE Molekuláris Genetikai Kutatócsoport) – széles körű hazai és nemzetközi együttműködés keretében – évek óta foglalkozik ezen anyagok elválasztásának szabályozásával, elsősorban a sejten belül zajló (jeltovábbító) mechanizmusokkal. E kérdések tanulmányozására különösen alkalmas kísérleti médium a szívizomsejt, illetve a szív mint egységes – ezen anyagokat elválasztó – „endokrin” szerv (Ruskoaho, 1992).

A *pitvari natriuretikus peptid* (ANP) felszabadulását a szívizomrostok feszülése (stretch) váltja ki. Kísérleti modellünkben (módosított Langendorff-féle izolált-perfundált patkányszív) lehetőségünk volt a pitvari nyomás tetszés szerinti változtatására és állandó szinten tartására; az összehúzódások mértékét video-optikai módszerrel határoztuk meg. Perfúziós pumpával, ill. pacemakerrel biztosítottuk az átáramlás, ill. a szívfrekvencia állandóságát a kísérletek alatt. A sejteken belüli szignalizációs utakat különböző szinteken gátló anyagokat a perfúziós folyadékhoz adtuk, és mértük (extrakciós RIA-módszerrel) a perfuzátum ANP-tartalmát. A készítmény stabilizációja után 10 percig kontrollmintákat vettünk, majd a nyugalmi pitvari nyomást $1,5 \pm 0,1$ Hgmm értékről 10 percre 4 Hgmm-rel megemeltük. A hatóanyagot nem tartalmazó oldószer adása közben ez a nyomásnövekedés az ANP koncentrációját 232 ± 56 pg/ml értékről 676 ± 132 pg/ml-re növelte ($p < 0,001$ kétutas varianciaanalízissel). Az ANP-koncentráció közel háromszoros emelkedését a szívizom-összehúzódások erejének (kontraktilitás) csupán minimális növekedése kísérte.

Ebben a kísérleti modellben a protein-tirozin-kináz (PTK) hatását gátló lavendustin 0,5, ill. 1,3 μM koncentrációban dóziszfüggően 53, ill. 68%-kal csökkentette a perfuzátum ANP-mennyiségét ($p < 0,01$, ill. $< 0,001$). Ugyanakkor a protein-kináz C (PKC) működését felfüggesztő stauroporin 100 nM koncentrációban nem csökkentette lényegesen a pitvari nyomás fokozására bekövetkező ANP-választ. Hasonlóképpen hatástalan maradt a protein-kináz A (PKA) gátló H-89, a Ca^{2+} -calmodulin-kináz II inhibitor KN 62 és a miozin könnyűlánc-kináz aktivitását felfüggesztő ML-9 hozzáadása a perfúziós folyadékhoz. A Ca^{2+} -csatorna-gátló diltiazem viszont 1 μM koncentrációban 64%-kal, szignifikánsan csökkentette az ANP koncentrációját a pitvari falfeszülés növelése közben ($p < 0,01$).

Kísérleti eredményeink szerint a szívizomsejtek feszülésének hatására bekövetkező ANP-elválasztás egyik fontos tényezője a tirozin-kináz aktiválódása, mert a PTK-t szelektíven gátló lavendustin A majdnem teljesen kivédte a pitvari nyomás fokozására bekövetkező ANP-szint-növekedést. Ez a megfigyelésünk összhangban van Sadoshima és Izumo (1993) izolált szívizomsejteken egy másik szelektív PTK-gátló szerrel, a genisteinnel végzett vizsgálataival. A falfeszülés által kiváltott PTK-aktiválódás a továbbiakban valószínűleg a növekedési faktorokhoz hasonlóan a foszfolipáz C (PLC) foszforilációja útján, az inozitol-trifoszfát (IP_3) képződése révén vezet a szarkoplazmatikus retikulumból történő, ún. belső Ca^{2+} -felszabaduláshoz, ezen keresztül az ANP elválasztásához. Eredményeink arra is utalnak, hogy a $\text{TPK} \rightarrow \text{PLC}$ szignalizáció másik lehetséges útja, a diacylglicerin- (DAG) képződés révén bekövetkező PKC-aktiválódás Bilder és munkatársai (1991) véleményével ellentétben nem játszik alapvető szerepet az ANP-elválasztás szabályozásában, mert vizsgálataink szerint sem a PKC-t gátló stauroporin, sem a Ca^{2+} -calmodulin-függő protein-kinázt bénító KN 62 nem befolyásolta lényegesen a pitvari falfeszülés fokozódására bekövetkező ANP-választ. Hasonló következtetésre jutottak korábban Ishida és munkatársai (1988). Végül kísérleteink szerint az L típusú Ca^{2+} -csatornán beáramló Ca^{2+} -ionoknak is szerepe lehet a szívizomsejtek feszítésének hatására bekövetkező ANP-szekrécióban, bár Ruskoaho és munkatársai (1990) adatai alapján – melyek szerint a Ca^{2+} -csatornákat aktiváló BAY k8644 inkább csökkentette a feszítésre adott ANP-választ – inkább a beáramló Ca^{2+} permisszív szerepére gondolunk.

Vizsgálataink további részében az ANP- és BNP-elválasztásnak az extracelluláris tér megnövekedésére bekövetkező változásait a génexpresszió szintjén tanulmányoztuk. Korábbi vizsgálatok (Lindpaintner és Ganten, 1991) ugyanis arra utaltak, hogy a két hormon szekréciójának fokozásához szükséges transzkripciós mechanizmusok jelentősen különböznek egymástól. E folyamatok tanulmányozásához patkányokban különböző lehetséges promoter/enhancer szekvenciákat *in vivo* közvetlenül a szívizomba juttattunk, majd kétoldali veseirtással létrehozott volumenterhelés után mértük a szívizomban az ANP és BNP mRNS expresszióját. Az ANP- és BNP-gének promoter régióinak kisebb-nagyobb deléciókat hordozó szenvenciáit PCR-technikával állítottuk elő, majd luciferáz riporter-gént kódoló plazmid vektorokba vittük, és a szív csúcsi régiójába injiciáltuk. A génexpresszió mérése Northern blot-technikával történt,

kontrollként egy a pitvari falfeszüléstől függetlenül expresszáldó gén, a GAPDH aktivitását használtuk.

Az ANP-gén expressziójához szükséges promoter szekvenciák közül a 638 bázispárt tartalmazó konstrukció hatásához hasonlítottuk a többi szívizomba juttatott promoter-szakaszt hordozó plazmidot. Nyugalmi állapotban a valamivel rövidebb, 552 bázispárt tartalmazó szekvencia hatása nem különbözött ettől, majd az expresszió szignifikáns csökkenése következett be a szekvencia további, 438 bázispárra történt rövidítésével; ez a megfigyelésünk a -493 és -489 között elhelyezkedő AP-1 régió fontosságára hívja fel a figyelmet az ANP-gén expressziójában.

A BNP-gén expressziójának vizsgálata során kimutattuk, hogy a 2,2 kilobázispárt tartalmazó promoterrel teljesen azonos mértékű aktivációt lehetett elérni a 114 bázispárt tartalmazó promoter-szakasszal. Ez a szekvencia a teljes promoter-régió 5 GATA szekvencieleme közül a 2 proximálist még tartalmazza. A -85 és -98 bázispárnál elhelyezkedő ezen két GATA-elem azonban önmagában nem elegendő a BNP-gén expressziójához, ugyanis a CRE-motívum (cAMP-responsive element) eltávolításával létrehozott, de a -100-tól +75 bázispárig tartó szekvencia alkalmazása során az expresszió 7%-ra csökkent.

A kétoldali veseirtással kiváltott extracelluláris térfogat-növekedés által stimulált génextpressziót ANP esetében a 700 bázispárt tartalmazó promoter szekvenciával szignifikánsan jobban lehetett fokozni, mint a 638 bázispárt tartalmazó konstrukcióval, ami a -700 és -638 közötti szakasz fontosságára utal. BNP esetében a 114 bázispárt tartalmazó szakasz szignifikánsan jobban fokozta a hypervolaemia okozta génextpresszió növekedést, mint a 2,2 kilobázis hosszúságú teljes promoter-szakasz; ez a megfigyelésünk arra enged következtetni, hogy a volumenterhelésre bekövetkező génextpressziót gátló (szuppresszor) régió(k) lehet(nek) a -114 bázispár feletti szakaszon.

A direkt kardiális géntranszferrel végzett vizsgálataink – melyekben az ANP- és BNP-gének expressziójához szükséges különböző promoter szakaszok hatását vizsgáltuk nyugalmi állapotban és az extracelluláris térfogat növelése után patkányokon – arra utalnak, hogy az ANP-gén szabályozásában az AP-1 régió, míg a BNP-gén expressziójában a két proximális GATA-kötő hely játszik fontos szerepet.

További kísérleteinkben az *adrenomedullinnak* (ADM) a szívizom összehúzó-dására kifejtett hatását és annak intracelluláris szignalizációs mechanizmusait tanulmányoztuk a már ismertett izolt patkányszívmodell segítségével. Az ADM 52 aminosavat tartalmazó peptid, melyet Kitamura és munkatársai (1993) izoláltak először; elsősorban autokrin- és parakrinhormon, mely gyakorlatilag minden szervben megtalálható, de különösen magas koncentrációkat mértek szívizomzatban, ami lényegesen fokozódott szívelégtelenségben (Richards et al., 1996). Az ADM biológiai hatásait (értágulat, nátriumürítés fokozása) elsősorban az adenilát-cikláz-cAMP-rendszer aktiválása útján fejt ki, Shimekake és munkatársai (1995) azonban kimutatták, hogy ADM az intracelluláris Ca^{2+} -koncentrációt a cAMP-szinttől függetlenül növelte, ami alternatív szignalizációs utak lehetőségét vetette fel. Mivel az ADM-nek a szívizom összehúzó-dására kifejtett

hatását még nem tanulmányozták behatóan, érdemesnek látszott a szívizom kontraktilitásának ADM hatására bekövetkező változását az intracelluláris jelátviteli rendszereket befolyásoló különböző anyagok jelenlétében megvizsgálni.

Az izolált, perfundált patkányszívkészítményen az ADM – az infundált mennyiségtől függő mértékben – fokozatosan növelte az összehúzódások nagyságát. A válasz kissé elhúzódnóbb volt, mint a szívizomműködést élettani körülmények között igen erősen fokozó, béta-receptorokat ingerlő izoprenalin adása után tapasztalt pozitív hatás. Az ADM beadása utáni kontrakció-növekedést a protein-kináz C (PKC) hatását gátló stauroporin egyidejű alkalmazása szignifikánsan csökkentette, ugyanakkor a cAMP-függő protein-kináz A-t (PKA) gátló H-89 nem befolyásolta lényegesen. Annak eldöntésére hogy a H-89 adagja megfelelő volt-e, izoprenalinval együtt is hozzáadtuk a perfundáló folyadékhoz: az izoprenalin közismerten PKA-függő, kontrakciónövelő hatását a gátló anyag felfüggesztette. Végül a Ca^{2+} -csatorna-blokkoló diltiazem hatását vizsgáltuk: megállapítottuk, hogy a szívizom összehúzódását önmagában nem befolyásolta kísérleteinkben, az ADM-kontrakciót növelő hatását viszont jelentősen mérsékelte.

Eredményeink arra utalnak, hogy az ADM jelentősen fokozza a szívizomsejtek összehúzódásának erejét. Munkacsoportunk korábbi vizsgálatai alapján (Szokodi et al., 1996) feltételezhető, hogy az ADM hatása az eddig ismert legerősebb összehúzódást fokozó anyaggal, az endothelin 1-gyel egyenértékű. E pozitív inotróp hatás intracelluláris szignalizációjában fontos szerepe van a PKC-nek, mely feltehetőleg a foszfolipáz C (PLC) útján aktiválódik. A szívizom-összehúzódás erejének ADM által történő növeléséhez feltétlenül szükséges a Ca^{2+} -ionok beáramlása a sejtbe. Kísérleteink alátámasztják Jougasaki és munkatársai (1995) adatait, melyek szerint szívelégtelenségben a kompenzációs mechanizmusok fontos része lehet az ADM felszaporodása a szívizomzatban.

Végül kísérleteket végeztünk az endogén digitáliszerű anyag, az *ouabain* elválasztásának szabályozásával kapcsolatban. Eredetileg növényekből izolálták ezt a Na^+/K^+ -ATP-áz (tehát a sejtmembránban levő Na-pumpát) gátló anyagot, de Hamlyn és munkatársai (1991) igazolták, hogy az ouabain az emlősök szervezetében is kimutatható, és plazmakoncentrációja jelentősen megnő kísérletes magasvérnyomás-betegségben.

Vizsgálatainkat izolált patkány-mellékvesekéreg-szövetszeleteken és sejteken végeztük. Az ouabain-termelés mérésére saját előállítású, nagy specificitású antitesteket és RIA-módszert alkalmaztunk (Beck et al., 1996), a ouabain azonosítása fordított fázisú HPLC-vel történt. Kimutattuk, hogy a mellékvesekéreg glomerulosa- és fasciculata-sejtjei egyaránt termelnek ouabaint ($10 \pm 0,01$ fmol/l, ill. 8 ± 2 fmol/l). Az inkubációs közeghez adott adrenokortikotrop hormon (ACTH) mindkét sejtfeleségben jelentősen, többszörösére növelte az ouabain-termelést, míg angiotenzin II csak a glomerulosa-sejtek termelését fokozta. Az acetilkolin és a pitvari natriuretikus peptid (ANP) hatástalan maradt. Az inkubációs médium kálium-koncentrációjának fokozatos növelésével 6 mmol/l értékig a glomerulosa-sejtek ouabain- (és az egyidejűleg mért aldoszteron-) termelése növekedett, majd ismét csökkent.

A plazma ouabainszint-változását a keringés terhelését követően patkánykísérletben vizsgáltuk: a hasi aorta és a vena cava inferior között mesterséges összeköttetést (shunt) létesítettünk, és a műtét után 1, 2 és 4 héttel megmértük az állatok szívének súlyát és a plazma ouabain-koncentrációját. Megállapítottuk, hogy 2 héttel a shunt létrehozása után a szív súlya és a plazma ouabain-koncentrációja a kontroll- (álműtött) állatok megfelelő értékeihez viszonyítva szignifikánsan nőtt; ezeket a változásokat nem befolyásolta a mellékveséknek a műtétnél történt eltávolítása.

Az endogén ouabain szervezeten belüli forgalmát 8 egészséges egyén és 30 szívűműtét előtt álló beteg plazma- és vizeletmintáinak analízisével vizsgáltuk. Eredményeink szerint a plazma és vizelet ouabain-koncentrációja, valamint a ouabain vizelettel ürülő mennyisége szívbetegekben közel kétszerese a kontroll-egyének értékeinek, ugyanakkor a ouabain-forgalom (plazma clearance) nem különbözött a két csoportban. Adataink arra utalnak, hogy a fokozott ouabain-termelés szerepet játszhat a szervezet szívbetegségeiben aktiválódó kompenzáló folyamataiban.

Összefoglalás

A szervezetben képződő (endogén) diuretikus (vizelethajtó) anyagok – natriuretikus peptidek, adrenomedullin, ouabain – képződését, hatásait és esetleges kóroktani jelentőségét vizsgáltuk különböző kísérleti elrendezésben, valamint szívbetegéken. Kimutattuk, hogy izolált, perfundált patkányszívben a pitvari natriuretikus peptidnek (ANP) a pitvarban uralkodó nyomás növelésével fokozott termelését a protein-tirozin-kinázt (PTK) bénító lavendustin A-val, valamint a Ca^{2+} -csatorna-gátló diltiazemmel csökkenteni lehet; a nyomásemelkedésre adott ANP-választ a protein-kináz A-t (PKA) bénító H-89 vagy a protein-kináz C-t (PKC) gátló stauroporin nem befolyásolta.

Direkt kardiális géntranszfer alkalmazásával kimutattuk, hogy a két szívben termelődő natriuretikus peptid, az ANP és BNP fokozott termeléséhez szükséges génaktivációban a promotor régiókban levő AP-1, ill. két proximális GATA-elem és a CRE-motívum jelenléte kell.

Ugyancsak izolált patkányszíven mutattuk ki az adrenomedullin (ADM) szív-izom-összehúzódnást fokozó hatását. Ezt a PKC aktivitását gátló stauroporin és a Ca^{2+} -csatorna-blokkoló diltiazem kivédte, míg a PKA-bénító H-89 nem befolyásolta.

Laboratóriumunkban előállított specifikus antitesttel, RIA-módszerrel kimutattuk, hogy izolált patkány-mellékvese glomerulosa- és fasciculata-sejtjei ouabaint termelnek, ami ACTH jelentéében fokozódik. Szívbetegéken végzett vizsgálataink szerint a ouabain plazmakoncentrációja és vizelettel történő ürítése szignifikánsan nagyobb az egészséges egyének megfelelő értékeinél. A keringési rendszer fokozott terhelését kísérletes úton is létrehoztuk patkányokban: két héttel az aorta és a fő vivőér között létesített shunt kialakítása után, a szív meg-

nagyobbodásával egyidejűleg nőtt a plazma ouabain-koncentrációja. Ezek a megfigyelések az endogén ouabain lehetséges szerepére utalnak a szív fokozott terhelésének kompenzációja során.

Irodalom

- Beck, M., Szalay, K. S., Nagy, G. M., Tóth, M., de Châtel, R.: *Endocr. Res.*, 22 (1996) 845–849.
Bilder, G. E., Krawiec, J. A., McVety, K. et al.: *Am. J. Physiol.*, 260 (1991) C721–C730.
Hamlyn, J. M., Blaustein, M. P., Bova, S. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88 (1991) 6259–6263.
Ishida, A., Tanahashi, T., Okumura, K. et al.: *Life Science*, 42 (1988) 1659–1667.
Jougasaki, M., Wei, C. M., McKinley, L. J., Burnett, J. C. Jr.: *Circulation*, 92 (1995) 286–289.
Kitamura, K., Kangawa, K., Kawamoto, M. et al.: *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 192 (1993) 553–560.
Lindpaintner, K., Ganten D.: *Circ. Res.*, 68 (1991) 905–921.
Richards, A. M., Nicholls, M. G., Lewis L., Lainchbury, G.: *Clin. Sci.*, 91 (1996) 3–16.
Ruskoaho, H.: *Pharmacol. Rev.*, 44 (1992) 479–602.
Ruskoaho, H., Voulteenaho, O., Leppäluoto, J.: *Endocrinology*, 127 (1990) 2445–2455.
Sadoshima, J-I., Izumo, S.: *EMBO J.*, 12 (1993) 1681–1692.
Shimekake, Y., Nagata, K., Ohta, S. et al.: *J. Biol. Chem.*, 270 (1995) 4412–4417.
Szokodi, I., Kinnunen, P., Ruskoaho, H.: *Acta Physiol. Scand.*, 156 (1996) 151–152.

ROMICS LÁSZLÓ, KARÁDI ISTVÁN,
CSÁSZÁR ALBERT, PROHÁSZKA ZOLTÁN,
FÜST GYÖRGY

Az atherosclerosis keletkezésében szerepet játszó genetikai és immunológiai faktorok vizsgálata

Bevezetés

Az érlelmeszesedés (atherosclerosis) bonyolult, komplex folyamat, amelynek a keletkezésében számos veleszületett és szerzett tényező játszik szerepet. Az érlelmeszesedés kialakulásával, az atherogenesis-szel kapcsolatos ismereteink fokozatosan gyarapodtak az elmúlt évtizedek során. Az 1970-es években ismerték fel az ún. klasszikus rizikófaktorokat, amelyeket az életkor, a nem, a dohányzás, a magas vérnyomás (hypertonia), a cukorbeteg (diabetes mellitus), az elhízás és egyes zsírsanyagcsere-zavarok (magas koleszterinszint, alacsony „védő”-HDL-koleszterinszint, magas „ártó”-LDL-koleszterinszint és a húgysav magas koncentrációja a vérben) képeznek.

A '80-as évek során írták le az inzulinrezisztencia szerepét, igazolták egy vérben kimutatható anyag, a homocisztein felszaporodásának az érlelmeszesedés keletkezésében játszott jelentőségét, és kimutatták, hogy a véralvadási rendszer zavarai, pl. a fibrinogén magas szintje is felelős lehet az érlelmeszesedés iránti fokozott hajlamért. Felismerték a zsírsanyagcsere-zavarok más formáinak, pl. a trigliceridek és az ún. lipoprotein(a) magas szintjének, az apoprotein és apoprotein receptor eltéréseinek és egyes enzimzavaroknak az összefüggését is az atherosclerosis-szal. Ebben az évtizedben láttak napvilágot azok az adatok is, amelyek egyes genetikai tényezők, pl. a zsírsanyagcsere szabályozásában szerepet játszó egyes fehérjék (apolipoprotein E, angiotensin convertase) aránylag ritka variánsai és a fokozott érlelmeszesedési hajlam közötti összefüggést látszottak igazolni.

A '90-es évek során újabb genetikai tényezők jelentőségét ismerték fel az atherogenesisben. E tényezők legfontosabb csoportját az egyes élettani folyamatokban, pl. a véralvadásban közreműködő fehérjék, ill. a fertőzés elleni védekezésben szerepet játszó, ún. komplement fehérjék veleszületett hibái

képezik. Ezek közül a C3 és C4 elnevezésű komplement fehérjéknek a normálistól eltérően működő (deficiens) variánsait, az V. véralvadási faktor Leiden-mutációját és a vérlemezkéken található, ún. glycoprotein receptor deficiens variánsát érdemes kiemelni. A '90-es évek során nyertek megerősítést azok a korábbi adatok is, amelyek szerint az érlemezés kialakulásában egyes immunológiai folyamatok is lényeges szerepet játszanak. Az immunológiai történéseknek az érlemezésben játszott szerepére az első bizonyítékokat a SOTE III. Belgyógyászati Klinika korábbi igazgatójának, Gerő Sándornak és munkatársainak máig is idézett munkái szolgáltatták (1).

Jelen közleményben azon vizsgálataink eredményeit mutatjuk be, amelyeknek során két érbetegségben, a koszorúér-betegségben és a perifériás érbetegségben vizsgáltuk a genetikai és az immunológiai faktorok szerepét. Hazai és nemzetközi kollaborációkat igénybe véve, e betegekben meghatároztuk azokat a legfontosabb génvariánsokat, amelyeknek szerepét az érlemezés okozta érbetegségekben mások korábban feltételezték. 1995-ben vezettük be a klinikán az ún. hő-shock-fehérjék elleni autoantitestek mérési módszerét, mert egy osztrák munkacsoport elsősorban állatkísérletek alapján feltételezte a hő-shock-fehérje elleni immunválasz közreműködését az érlemezéshez vezető patológiai folyamatban. A hő-shock-fehérjékre (heat-shock proteinek, ma már általánosan használt rövidítéssel hsp) vagy más néven stresszfehérjékre nagyfokú filogenetikai konzerváltság a jellemző. Ezt az bizonyítja, hogy a baktériumok, növényi sejtek és emlőssejtek hsp-inek felépítése között kevesebb mint 50% az eltérés. Stresszhatásra (hőmérséklet növelése, oxigén elvonása, ún. reaktív oxigén vagy szabadgyökök) termelődésük fokozódik, ez a sejt védelmét szolgálja. A hsp-k molekulatömegük szerint különböző családokba oszthatók, mi a 60 kD-os családba tartozó hsp-k elleni antitestválaszt mértük.

Vizsgálataink részben még folyamatban vannak, eredményeinkről a későbbiekben fogunk beszámolni. Az eddig elért nemzetközileg is új eredmények közül a legígéretesebbeket mutatjuk be.

Vizsgált betegek és kontrollegyenek

1. Coronarographiával (koszorúérfestéssel) igazolt súlyos koszorúérbetegek. 357, 35–78 (medián 58) éves beteg (273 férfi, 84 nő) tartozott e csoportba. Az érfestés során minden betegben 50%-nál nagyobb érszűkületet találtak, és ezért valamennyiüknél by-pass-műtét (a beszűkült érszakasz helyett új ér beültetése a szervezet más helyéről) történt. A betegek utánkövetését Duba Jenő (Országos Kardiológiai Intézet) végzi, az alábbiakban leírt vizsgálatokat vele való együttműködésben hajtottuk végre.

2. Perifériás érbetegek, akiknél restenosis (az ér ismételt beszűkülése) következett be. A Központi Honvéd Kórházban Vallus Gábor által operált és gondozott 107 betegnek (70 férfi, 37 nő, 39–78 évesek, medián 58 év) súlyos, a combartérián kifejlődő (femoro-poplitealis) atherosclerosisuk volt, és ismételt

rekonstrukciós angioplasztikára, azaz az alsó végtag vérellátásának biztosítása céljából egészséges érszakasz beültetésére szorultak a sebészeti beavatkozást követő 5 éven belül. Az ismételt műtétet azért kellett végrehajtani, mert a beültetett éren is jelentkezett az atherosclerosis, és emiatt ez az ér is beszűkült, restenotizált.

3. Kontrollegyenék. Életkor és nem szerint illesztett egészséges véradók [n = 321, életkor 35–75 (medián 47) év, 248 férfi, 73 nő] képezték a kontrollcsoportot a legtöbb vizsgálatban, egyes mérések, pl. a Leiden-mutáció-meghatározás kontrolljaként azonban technikai okból más egészséges egyéncsoportot használtunk.

Eredmények és megbeszélésük

Az apolipoprotein E- (apoE) polimorfizmus meghatározása

A nagy falósejtek, a macrophagok által termelt apoE fő fiziológiás funkciói a triglyceridben gazdag lipoproteinek keringésből történő eltávolítása, és fontos szerepet játszik ez a fehérje a magas sűrűségű lipoprotein (HDL) által közvetített reverz koleszterin-transzportban is (2). Meggátolja az oxidált, igen alacsony sűrűségű lipoprotein (VLDL) felvételét a macrophagokba, továbbá újabb vizsgálatok bizonyították az apoE jelentőségét az ideg- és simaizom-regenerációban és az immunválaszban is.

Az apoE-nek három öröklődő variánsa (allélje) lehet (2) az ϵ_2 , ϵ_3 , ϵ_4 , amelyek közül az ϵ_3 forma gyakorisága 0,62–0,83, az ϵ_2 allélé 0,07–0,29, míg az ϵ_4 allélé 0,06–0,10. A legújabb megfigyelések szerint az ϵ_2 allélt hordozók gyakorisága a 100 évesek körében dominál, előfordulása 0,128, szemben a fiatalok körében talált 0,068-as értékkel. Egyéb tanulmányok szerint is szignifikánsan gyakoribb időssekben az ϵ_2 allél. Miután a középkorúakban a szív-érrendszeri halálozás igen nagy, kiterjedten ebben a betegségcsoportban vizsgálták az apoE-polimorfizmus szerepét. A koszorúér-betegség kialakulása szempontjából számos felmérés az ϵ_2 allél védőhatását igazolta, ill. az ϵ_4 allélnek a betegekben mérhető nagyobb gyakoriságát mutatta. A részletesebb összefüggésekre vonatkozó tanulmányok szerint fiatalkori infarktuszban, „silent” ischaemiában (tehát a szívizom tünetmentes elhalásában) is kimutatható az ϵ_4 alléllal való asszociáció.

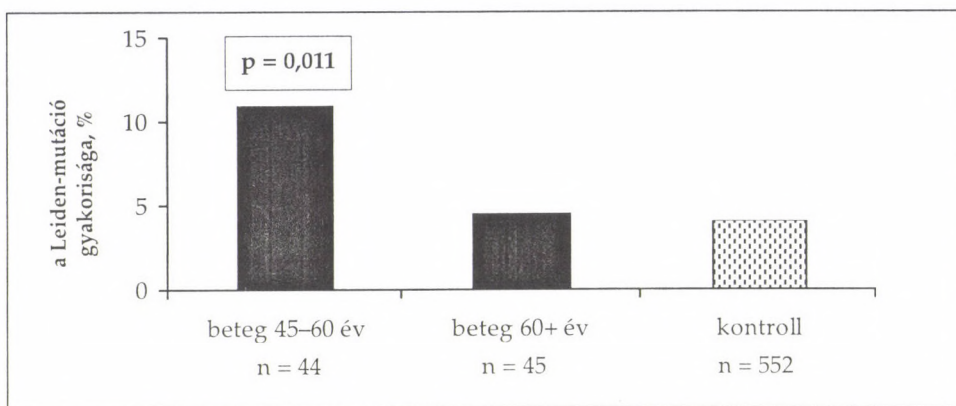
Jelen vizsgálatainkban, amelyeket Nagy Bálinttal (SOTE I. Nőgyógyászati Klinika) együtt végeztünk, polimeráz láncreakcióval (PCR-technikával) összehasonlítottuk az apoE allélek előfordulási gyakoriságát restenotizáló érbetegekben – tehát azokban a betegekben, akiknél az alsó végtagon átültetett érszakaszban ismételt atheroscleroticus-szűkület következett be – és a kontrollegyenékben. A két csoport között az ϵ_4 allélfrekvenciában találtunk szignifikáns ($p = 0,02$)

különbséget, az érbetegekben 13,0%-os, a kontroll egészséges egyénekben 8,1%-os gyakorisággal fordult elő ez az allél.

Az V. véralvadási faktor Leiden-mutációjának előfordulása a betegcsoportokban és a kontrollegyének között

Az V. véralvadási faktor génje az 1. kromoszómán található. A Leiden-mutáció pontmutációt, tehát egyetlen aminosav kicserélődését (Arg506-Gly506) jelenti. Különböző populációkban igen eltérő gyakorisággal fordul elő ez a mutáció (3). Afrikában nem találtak Leiden-mutációt, Ázsiában 0–1,1%-os, Brazíliában 1%-os, az USA-ban 4,4%-os, Észak-Európában 2,6–4,4%-os, míg Dél-Európában 0,3–1,5% között volt a különböző vizsgálatok szerint a Leiden-mutáció gyakorisága. A mutáció következtében rezisztencia alakul ki egy a véralvadást szabályozó fehérje, az aktivált protein C gátló hatásával szemben, ezért megnő a kóros, fokozott véralvadási folyamatok kialakulásának a veszélye. Ismert, hogy a Leiden-mutáció vénás trombózisra hajlamosít. Bár egy vizsgálatban fiatal, myocardialis infarctust szenvedett nőkben megfigyelték a mutáció gyakoribb előfordulását, ma még nem egyértelmű az, hogy a Leiden-mutáció az artériás megbetegedések rizikófaktorának is tekinthető-e. Ezért érdemesnek tartottuk a Leiden-mutáció előfordulási gyakoriságának vizsgálatát az előbbieken ismertetett betegcsoportokban. E meghatározásokat Melegh Bélával, Méhes Károllyal (POTE Gyermekklinika) és Nagy Bálinttal (SOTE I. Nőgyógyászati Klinika) együtt végeztük, PCR-technika alkalmazásával.

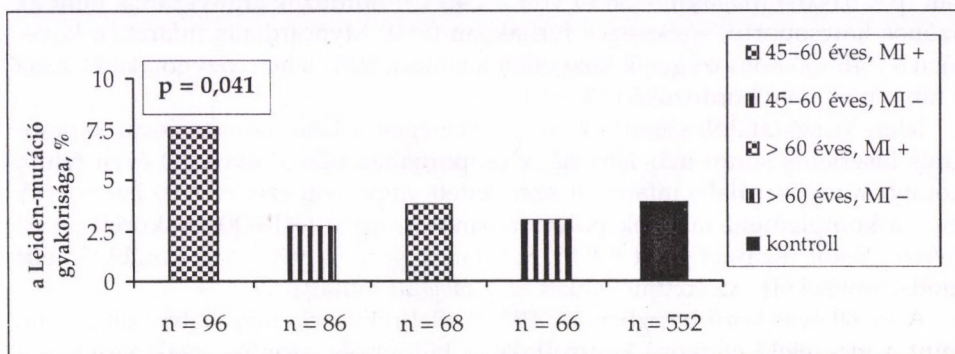
A kapott eredményeket az 1. és 2. ábra mutatja. A koszorúérbetegeket életkor szerint (60 évesnél fiatalabb, ill. idősebb) osztottuk fel, majd mindkét életkori csoportban tovább osztottuk a betegeket aszerint, hogy anamnézisében szerepelt-e szívinfarktus (myocardialis infarctus). E vizsgálatok eredményeit 552, fele-



1. ábra. Az V. véralvadási faktor Leiden-mutációjának előfordulása restenotizáló perifériás érbetegek két korcsoportjában és kontrollegyénekben

részenben egészséges felnőttekből, felerészben egészséges gyermekekből álló kontrollcsoportban kapott eredményekhez hasonlítottuk. (A mutáció előfordulási gyakoriságában életkori összefüggés nem volt észlelhető.)

Az 1. ábrából látható, hogy a restenotizáló perifériás érbetegségben szenvedő középkorú (45–60 éves) betegekben szignifikánsan gyakrabban ($p = 0,011$) fordult elő a Leiden-mutáció, mint a kontrollcsoport között, míg a 60 éven felüliek esetében ez a különbség már nem állt fenn. Hasonló eredményeket kaptunk a



2. ábra. Az V. véralvadási faktor Leiden-mutációjának előfordulása by-pass-műtéten átesett súlyos koszorúérbetegek és egészséges egyének különböző csoportjaiban

koszorúérbetegek csoportjában is, itt azokban a 45–60 éves betegekben voltak szignifikánsan ($p < 0,05$) gyakrabban Leiden-mutációt hordozók találhatók, akik korábban myocardialis infarktust szenvedtek (2. ábra).

Vizsgálataink szerint tehát az V. faktor Leiden-mutációja (valószínűleg a véralvadást szabályozó aktivált protein C iránti rezisztencia révén, de esetleg más, eddig még nem ismert mechanizmus útján) hajlamosít a koszorúérbetegekben myocardialis infarktusra és a perifériás erek ismételt, érelmeszesedés okozta beszűkülésére, ez a hatás azonban csak aránylag fiatal korban (60 év alatt) érvényesül. Ez az eredményünk összhangban áll azzal, az újabb irodalmi adatokból levonható következtetéssel, hogy a Leiden-mutáció az atherosclerosis alapfolyamatát nem befolyásolja, de jelentősen hozzájárulhat a valamilyen módon (műtétrel, az erek tágításával) megszüntetett érszűkület ismételt kialakulásához (4, 5, 6).

A C4 komplement fehérje hibás génjének (C4B*Q0) előfordulása a koszorúérbetegek csoportjában

A komplement rendszer a szervezet egyik legfontosabb védekező szisztémája a fertőzésekkel, mindenekelőtt a bakteriális infekciókkal szemben. Kóros körülmények között azonban e rendszer aktiválódása több betegség kialakulásában is közreműködhet. A komplement rendszert 20, a vérplazmában található fehérje

alkotja. Ezek egyikét, a C4 komplement fehérjét két, a 6. kromoszóma rövid karján található gén kódolja, a C4A és a C4B gén. Korábbi vizsgálataink szerint (7) a C4B gén Q0-val jelzett, a normálistól eltérő funkciójú variáns deficiens allélje „negatív túlélési faktor”. Ez azt jelenti, hogy ennek az allélnek a hordozói fokozatosan kiszelektálódnak az egészséges populációból, a C4B*Q0 génfrekvencia egészséges 45 éves aluliakban 16%, egészséges 60 éves felüliekben 5,4%. A myocardialis infarctusban szenvedő, 60–79 éves férfibetegekben szignifikánsan ($p < 0,0001$) magasabb (38%) volt a C4B*Q0-hordozók arányszáma, mint az azonos korcsoportú, egészséges férfiakban (8%). Myocardialis infarctust követően a C4B*Q0 homozygoták közvetlen letalitása 50%, a heterozygotáké 21%, az e hibás gént nem hordozóké 12% volt (8).

Jelen vizsgálataink során a koszorúérbetegek a Leiden-mutációval kapcsolatos kísérletek során már leírt négy csoportjában (45–60 éves, 60 éves felüli, korábban myocardialis infarctust szenvedett vagy nem szenvedett) határoztuk meg a komplement fehérjék polimorfizmusát, így a C4B*Q0 gyakoriságát is. A vizsgálatot Kramer Judit (OHII, Szt. János Kórház) végezte a korábban leírt módszerekkel (4). Az eredményeket az 1. táblázat mutatja.

A 45–60 éves korú betegben a C4B*Q0 allélfrekvencia magasabb volt ugyan, mint a megfelelő életkorú kontrolloké, a különbség azonban csak azokban a betegekben közelítette meg a szignifikancia határát, akiknek az anamnézisében előfordult myocardialis infarctus. A 60 éves felüliek esetében azonban mindkét alcsoportban lényegesen magasabb volt a C4B*Q0 allélfrekvencia, mint az azonos korú, egészséges kontrollokban, a korábban infarktust szenvedettekben észleltük a legmagasabb százalékban a C4B*Q0 hibás gén előfordulását.

A C4B*Q0 és a koszorúér-betegség, ill. a myocardialis-infarctus-rizikó közötti összefüggésnek két magyarázata lehetséges: A funkcionális magyarázat szerint a C4 génhibák ronthatják a szervezetünkben folyamatosan keletkező antigén-antitest komplexek „eltakarítását”, amely a komplement-rendszer feladata. Ha ez a folyamat elmarad, akkor ezek a komplexek lerakódhatnak az érfalban, és hoz-

1. táblázat

Deficiens C4B allél (C4B*Q0) előfordulása by-pass-műtéten átesett súlyos koszorúérbetegek és egészséges egyének különböző csoportjaiban

| | 45–60 éves | | 60 évesnél idősebb | |
|------------|---|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | Műtét előtt volt MI-a | Műtét előtt nem volt MI-a | Műtét előtt volt MI-a | Műtét előtt nem volt MI-a |
| | deficiens allélok (C4B*Q0) száma/összes vizsgált allélok száma (allélfrekvencia, %) | | | |
| Betegek | 27/170 (15,7%)* | 30/194 (13,9%) | 21/134 (15,7%)* | 15/122 (12,1%)* |
| Kontrollok | 40/394 (10,2%) | | 52/970 (5,4%) | |

MI = myocardialis infarctus, *P: $0,05 < p < 0,1$, **P: $< 0,01$, ***P: $< 0,001$

zárulhatnak az érlelmeszesedés kialakulásához (9). A másik magyarázat szerint a C4B*Q0 és a 6. kromoszóma MHC III régiójában lévő, ma még ismeretlen, az érlelmeszesedést elősegítő gén együtt öröklődik.

Megvizsgáltuk azt is, hogy fennáll-e különbség a deficiens C4 gének (C4B*Q0, C4A*Q0) és a Leiden-mutáció előfordulásában azok között a betegek között, akinek korábban volt (1. csoport), ill. nem volt (2. csoport) myocardialis infarctusa. Az első csoport betegei 39,5%-ában, míg a második csoport betegeinek 58,0%-ában nem fordult elő sem hibás C4 gén, sem Leiden-mutáció. A különbség a két csoport között erősen szignifikáns ($p = 0,0012$). Ezek az eredmények arra mutatnak, hogy két plazma-enzim rendszer (komplement és véralvadási rendszer) hibás működése is hozzájárulhat a myocardialis infarctus kifejlődéséhez koszorúér-betegségben szenvedőkben.

A hő-shock-fehérjék elleni antitestek előfordulása és mennyisége érbetegekben és kontrollegyenekben

Georg Wick és munkatársai 1995-ben közölt hipotézise szerint (10) az atherosclerosis kapcsolatban áll a hő-shock-fehérjék (hsp) elleni immunválasszal. A hipotézis szerint az atheroscleroticus laesiók keletkezésében az első és beindító lépés az érfalat bélelő, ún. endothel-sejtek felszínén stresszhatásra fokozottan expresszálódó, azaz a normál körülményekhez képest lényegesen nagyobb mennyiségben megjelenő, 60 kD molekulatömegű hsp elleni immunválasz. Észlesei nagyrészt állatkísérletes, *in vitro* és egészséges populáción végzett megfigyeléseken alapulnak, az érbetegekben végzett vizsgálatok száma igen kevés, és ezek is leginkább vizsgálataink elkezdése óta kerültek közlésre.

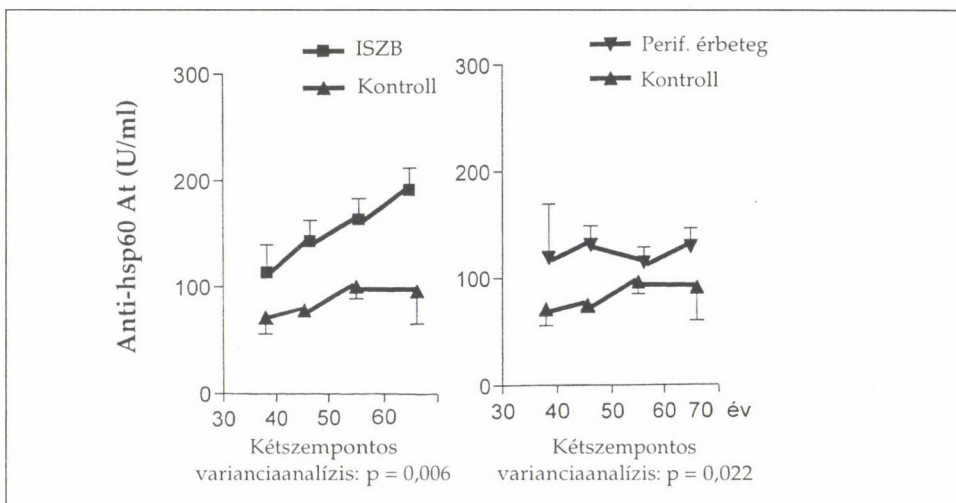
Célul tűztük ki az anti-hsp60 antitestek szintjének mérését koszorúér-betegekben, perifériás érbetegekben, ill. nem és kor szerint illesztett egészséges kontrollokban. Vizsgáltuk még az anti-hsp60 antitestek szintje és az ismert rizikófaktorok közötti összefüggéseket, valamint az anti-hsp60-antitest-mérés esetleges prediktív értékét is. Az antitest-meghatározást az általunk kidolgozott ELISA-technikával (11) végeztük.

A 3. ábra mutatja a hsp60 elleni autoantitestek szintjét a vizsgált koszorúér-betegekben és perifériás érbetegekben, azonos korú egészségesekhez hasonlítva. Jól látható – és ezt egy speciális matematikai-statisztikai eljárással, a kétszemponos varianciaanalízissel végzett összehasonlítás is megerősíti –, hogy mindkét betegcsoportban szignifikánsan magasabb a hsp60 antitest-titer, mint a kontrollokban.

A hagyományos rizikófaktorok közül egyedül a dohányzással találtunk összefüggést: a hsp60 antitestek titere szignifikánsan ($p = 0,033$) magasabb volt azokban a betegekben, akik valaha is dohányoztak, mint azokban, akik sohasem. Más rizikófaktorokkal [nem, elhízás, magas vérnyomás, cukorbetegség, szérumlipidek és Lp(a) szintje] azonban nem tudtunk összefüggést kimutatni. A hsp-antitest-mérés prediktív értékére, azaz a kóros elváltozásokat előre jelző értékére vonatkozó

számításokat az tette lehetővé, hogy a koszorúérműtét és a mintavétel között fél év telt el. Jelentősen emelkedett hsp60 antitestszintnek azt a mennyiséget tekintettük, amely meghaladta az egészségesekben mért antitestszint 90-es percentiliséét. A műtétet követően 4 betegben következett be myocardialis infarctus, mind a 4 beteg abba a 78 betegből álló csoportba tartozott, akiknek vérében jelentősen emelkedett volt az antitestszint, míg azokban a betegekben, akinek vérében normális vagy csak enyhén emelkedett hsp60 antitest-titert mértünk, a műtét után infarktus egy esetben sem következett be. A két csoport között a különbség erősen szignifikáns ($p = 0,0037$). Hasonló, bár kevésbé éles különbség volt észlelhető azok között a betegek között, akiknek vérében jelentősen emelkedett anti-hsp60 antitest-titert mértünk, ill. nem mértünk a műtét utáni angina pectoris előfordulásában is. Az első csoport betegeinek 14,3%-a, a második csoport betegeinek csak 6,3%-a panaszkodott angina pectorisról a by-pass-műtétet követő féléven belül ($p = 0,052$).

Jelenleg folyó további vizsgálataink fő célja az anti-hsp60 antitestek kóros hatása mechanizmusának tisztázása. Legújabb eredményeink szerint (Prohászka et al., *International Immunology*, közlésre elküldve) igen szoros pozitív korreláció tapasztalható a humán hsp60 által a betegek savójában beindított komplement-



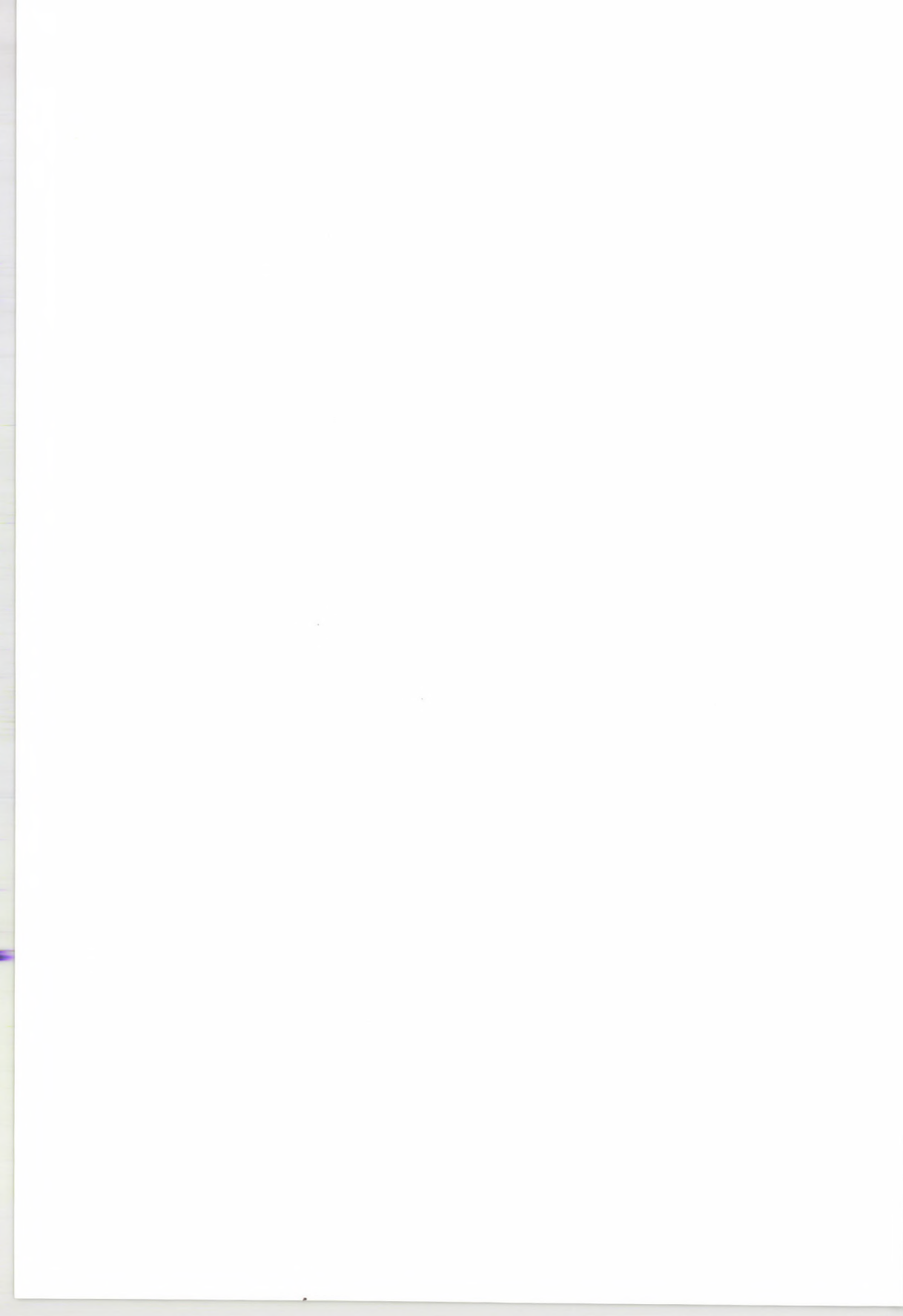
3. ábra. A 60 kD molekulatömegű hő-shock-fehérje elleni autoantitestek mennyisége by-pass-műtéten átesett súlyos koszorúérbetegek, restenotizáló perifériás érbetegek és egészséges egyének különböző korcsoportjaiban

aktiváció és a savóban mért anti-hsp60 antitestek szintje között, ami arra mutat, hogy a hsp60 elleni autoantitestek endothel sejtkárosító hatásukat legalábbis részben a komplement rendszer aktiválása útján fejtik ki.

Alkalmazott rövidítések: LDL: low density lipoprotein; VLDL: very low density lipoprotein; Lp(a): lipoprotein(a); C4: a komplement rendszer negyedik tényezője; hsp: hő-shock-protein.

Irodalom

1. Gerő, S., Gergely, J., Jakab, L. et al.: *Lancet*, 1 (1961) 1119.
2. Siest, G., Pillot, T., Régis-Bailly, A., et al.: *Clin.Chem.*, 41 (1995) 1068.
3. Rees, D. C., Cox, M., Clegg, J. B.: *Lancet*, 346 (1995) 1133.
4. Ridker, P. M., Hennekes, C. H., Lindpainter, K. et al.: *N. Engl. J. Med.*, 332 (1995) 912.
5. Ersitland, J., Gjonnes, G., Dandset, P. M. et al.: *Thrombosis Res.*, 79 (1995) 223.
6. Ourel, K., Green, R. M., de Weese, J. A. et al.: *J. Vasc. Surgery*, 23 (1996) 46.
7. Kramer, J., Fülöp, T., Rajczy, K. et al.: *Human genetics*, 86 (1991) 595.
8. Kramer, J., Rajczy, K., Hegyi, L. et al.: *Brit. Med. J.*, 309 (1994) 313.
9. Toorzewski, J., Bowyer, D. E., Waltenberger, J. et al.: *Atherosclerosis*, 132 (1997) 131.
10. Wick, G., Schett, G., Amberger, A. et al.: *Immunology Today*, 16 (1995) 27.
11. Prohászka, Z., Bánhegy, D, Ujhelyi, E. et al.: *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, (1998) in press.



NÁSZ ISTVÁN, ÁDÁM ÉVA, LENGYEL ANNA,
DOBAY ORSOLYA, JENEY CSABA

Az adenovírus-kutatás új irányai

Az adenovírusok jelentősége az orvostudományban értelemszerűen elsősorban kórokozó képességükben nyilvánul meg. Az adenovírus-családba jelenleg 128 szerológiai típus tartozik. Ezek közül 51 típus emberi eredetű, 77-nek pedig különböző emlősállatok, illetve madarak a természetes gazdái. A vírusok közül feltehetően az adenovírusok képesek előidézni az emberben a legváltozatosabb kórképeket. Általában légúti, szemészeti, gastro-intestinalis és urogenitális fertőzéseket okoznak (1, 2). Sok más betegség előidézésére és sok belső szerv fertőzésére is képesek, a népesség szinte minden korosztályában. A látens fertőzések patogenezisében és a rosszindulatú daganatképzésben játszott szerepük felismerése és tanulmányozása során az is kiderült, hogy a fertőzések patomechanizmusa komplikált és máig sem tisztázott teljesen. Az utóbbi mintegy 10-15 év folyamán rendkívüli jelentőségre tett szert az a felismerés, hogy az adenovírusok immunhiányos vagy immunszuppresszált betegekben, illetve AIDS-ben szenvedőkben igen súlyos, nagy letalitással járó fertőzéseket képesek előidézni. Az AIDS és az adenovírus-fertőzések között különleges összefüggés, egymásra hatás létezésére utaló adatok is napfényre kerültek. Ennek magyarázata jelenleg még nem ismert, de a probléma feltétlenül tisztázásra vár. Az adenovírus valamilyen módon súlyosbítja, gyorsítja a betegség lefolyását. AIDS-esekből viszont számos új, eddig ismeretlen adenovírus-szerotípus és intermedier antigén-tulajdonságú típus volt izolálható. Többek között ezek a problémák indokolják, és teszik szükségessé és időszerűvé az adenovírus-fertőzések patomechanizmusának molekuláris szintű vizsgálatát (2, 3).

A kórokozó képességgel látszólagos ellentétben áll az adenovírusokban rejlő másik két, nagy reményekkel kecsegtető lehetőség, nevezetesen az adenovírusok felhasználása a különböző betegségek gyógyításában, illetve a fertőző betegségek megelőzésében, azaz az adenovírusok gyógyítást segítő, illetve a prevenciót segítő vírusként való alkalmazása. Mindkét lehetőség világszerte széles körű, kísérletes kidolgozás alatt áll, és az képezi az alapját, hogy az adenovírusok DNS-ébe idegen gének építhetők be. Az így létrehozott rekombináns adenovírusok mint

vektorok képesek behatolni a szervezet sokféle sejtjébe, és képesek bevinni azokba a kívánt géneket, amelyek ott kifejezésre jutnak, expresszálnak, és kifejtik hatásukat. Az utóbbi években a rekombináns adenovírusok széles körű kísérletes alkalmazásra kerültek gyógyító és preventív célokra egyaránt. A kísérletes génterápiában világszerte alkalmazzák az adenovírus-vektorokat az örökletes génhiányos és más komplex betegségek gyógyítását, a különböző rákféleségek immunterápiáját és molekuláris terápiáját célzó kísérletekben. Ígéretesnek látszik a rekombináns adenovírus-technika és a gyógyszeres kezelés kombinációja is, továbbá a daganatsejtek specifikus elpusztítása módosított, nem rekombináns adenovírral (1. táblázat). Ha pedig a bevitt gén expressziós terméke valamely

1. táblázat

Rekombináns adenovírusok alkalmazásának néhány kísérletes irányzata

1. Kísérletes génterápia

- génműködés hiányán alapuló (örökletes, komplex) betegségek: hiányzó gének bevitele

2. Különböző rákféleségek

- immunterápia: tumorantigén-, vagy citokin gének bevitele
- molekuláris terápia: tumorszuppresszor-gének bevitele
- kombinált eljárás: öngyilkos (enzim) gének bevitele után specifikus gyógyszeres kezelés
- vírusterápia: tumorsejtek specifikus elpusztítása módosított (nem rekombináns) adenovírral

3. Fertőző betegségek megelőzése

- preventív immunizálás: megfelelő antigén gének bevitele

fertőző betegséget okozó mikroba megfelelő antigénjének felel meg, és az expresszálnak után ez ellen a szervezet ellenanyagot termel, akkor az ilyen „rekombináns védőoltással” a fertőző betegségek jelentős része is megelőzhetővé válhat. A rekombináns adenovírus-vakcinák kísérletes alkalmazása is széles körben folyik a különböző fertőző, elsősorban vírusok okozta betegségek megelőzése céljából, nemcsak az emberek gyógyításában, hanem nagyon fontos állatgyógyászati vonatkozása is van az eljárásnak (2. táblázat). A rekombináns adenovírusok alkalmazásának mezőgazdasági, állattenyésztési területen pedig szinte beláthatatlan horderejű gazdasági jelentősége is lehet (2–5).

Saját vizsgálataink, amelyeket most ismertetünk, elsősorban az adenovírus-hexonfehérje antigénszerkezetére vonatkoznak. Az ikozaéder alakú vírusrészecske (virion) fehérjeburkát alkotó 252 morfológiai egység (kapszomér) közül 240 a

Kísérletes immunizálás rekombináns adenovírusokkal

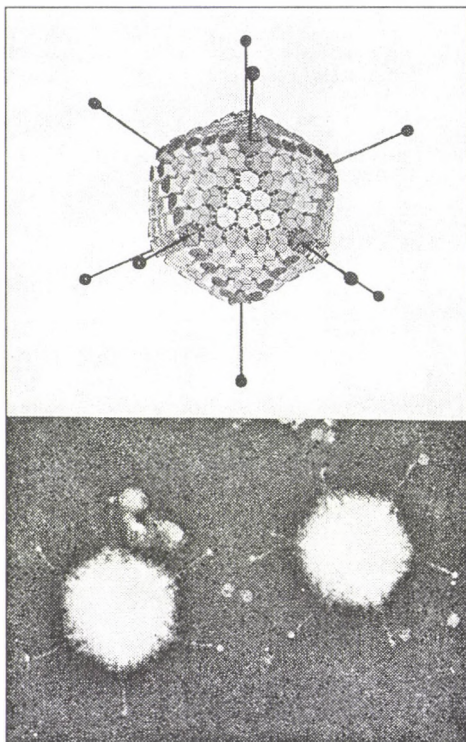
Protektív immunitást kiváltó **antigén gének** bevitel:

| | |
|----------------------|------------------------------|
| Hepatitis B-vírus | Parainfluenza-vírus |
| Herpes simplex-vírus | Respiratory syncytial-vírus |
| Cytomegalovírus | Rabies-vírus |
| Epstein-Barr-vírus | Vesicularis stomatitis-vírus |
| | Rotavírus |
| | Coronavírus |
| | Retrovírus: HIV, SIV, FIV |

hexon, melyek közül 120 helyezkedik el az éleken és 120 a háromszögletű lapokon. Minden komplett hexon három, kémiaiilag azonos alegységből áll (1. ábra). A hexonok felszínén számos, különböző specificitású antigéndetermináns, epitóp található, melyek pontos ismerete rendkívül fontos szerepet játszik a gén-terápiás és rekombináns vakcinálási kísérletek hatékonysága szempontjából (6–10).

Nagymértékben tisztított és részben kristályosított hexonkészítmények segítségével előállított nagyszámú monoklonális ellenanyag és több mint 20 szerológiai típusba tartozó hexonpreparátum vizsgálata alapján kimutattuk, hogy a különböző hexontípusokon az adenovírus genusra és a szerológiai típusra specifikus epitópokon kívül nagyszámú, ún. intertípus-specifikus (IT) epitóp is létezik. Ezek az IT epitópok egymástól is különböznek, és az adott szerotípustól függően különböző kombinációkban vannak jelen a hexon felszínén (9, 11). A monoklonális ellenanyagok specificitását, azaz epitóp-elkülönítő képességét szigorú kritériumok alapján határoztuk meg, az ellenanyagok hexontípusok közötti keresztreaktíválási képességének, titerének, mértékének és korrelációs koeficiensének segítségével. Ilyen módon összesen 18 különböző IT-specifikus epitópot sikerült elkülöníteni. Kimutattuk, hogy egy adott IT epitóp a megfelelő specifikus monoklonális ellenanyaggal azonosítható, de azzal a két hexontípus-csoporttal jellemezhető (definiálható), melyek tagjain az adott monoklonális ellenanyaggal kimutatható a jelenléte, illetve amelyeken nem (7–9, 11).

Az IT epitópok mintegy kétharmadát egyetlen monoklonális ellenanyag (hibridoma klón) ismerte fel (azonosította), egyharmadát pedig kisebb vagy nagyobb ellenanyagcsoportok (klónok). Ez a jelenség arra mutat, hogy ez utóbbi epitópok hozzáférhetősége jobb, és lokalizációjuk a hexon egy immundomináns régiójában lehet. Páros összehasonlítás segítségével, a különböző hexontípusokon való jelenlétük alapján meghatároztuk az IT epitópok egymáshoz viszonyított specifikusági rokonságát is. Az egyes epitópcsoportok között kimutatott szoros rokonság arra utal, hogy ezek szekvenciális, átfedő vagy konformációs epitópok lehetnek. Mind a 18 IT-specifikus epitópegyüttes összehasonlító analízise során kiderült,



1. ábra. Adenovírus-modell és elektronmikroszkópos képe. Szemlélteti az izokáéder alakú vírusrészecske élein és lapjain szabályosan elhelyezkedő hexon kapszomereket, az ezeket alkotó három strukturális alegységet, továbbá a csúcsokon levő kapszomereknek (pentonok) radiálisan kiálló nyúlóványait (fiber), végükön kis, gömbszerű képződményekkel

hogy szinte lineárisan, epitóponként lépésről lépésre csökken azoknak a szrotípusoknak a száma, amelyeken jelen van az adott epitóp, és ezzel párhuzamosan növekszik azon szerotípusoknak a száma, amelyekről hiányzik. Ez a tény világosan utal az antigén-rokonság mértékére, az adenovírus-család evolúciója során az egyes szerotípusok egymásból való kifejlődésének lehetőségére, és új taxonómiai és diagnosztikai lehetőségeket is feltár (3. táblázat).

Igazi jelentősége azonban a rekombináns adenovírusok alkalmazása területén van. Ugyanis a rekombináns adenovírusok alkalmazásának egyik nehézsége a recipiens szervezet immunválasza, ellenanyag-termelése a rekombináns vektorvírus saját fehérjeantigénjei ellen, amelyek csökkentik, második vagy többszöri kezelés esetén pedig teljesen megakadályozhatják a kezelés hatását, hiszen az összes IT epitóp ellen képződött ellenanyag, amely az alkalmazott rekombináns adenovírus-típus hexonján jelen van, érezteti káros hatását. Ez pedig hexontípusonként változó, egyiken több, másikon kevesebb és másféle IT epitóp van jelen (7–9, 12, 13).

Ezek alapján az a javaslatunk, hogy a génterápia során rekombináns adenovírus-kezelésre második vagy többszöri kezelésre más-más szerotípusból készített vektor kerüljön alkalmazásra egy adott beteg esetében. Mégpedig olyan adenovírus-típusokból, amelyek antigén szerkezetének epitóp-összetétele a lehető legtávolabb áll egymástól. Ennek meghatározására egy rendszert dolgoztunk ki az adenovírusok IT-specifikus epitópjainak, antigén-rokonsági fokának két-két típusonként történő, páros összehasonlítása alapján. Ezt mutatjuk be a 4. táblázaton. A felső sorban és a bal oldali oszlopokban a vizsgált hexontípusok láthatók. A találkozási pontokban található keretekben az első szám az azonos, a második szám pedig az eltérő epitópok számát mutatja két-két, adott adenovírus-típus esetében. A vastag keretekkel jelölt típusok nagyfokú rokonságot mutatnak, a vékony keretekkel jelölt típuspárok

3. táblázat

Intertípus-specifikus (IT) epitópok jellemzése a különböző adenovírus-hexontípusokon való jelenlétük (p) és hiányuk (a) alapján

| IT epitópok jele | Intertípus-specifikus (IT) epitópok jelenléte/hiánya (p/a spektruma) a különböző adenovírus szerotípusok hexonjain | p/a index | MEA-k sztáma |
|------------------|---|--------------|-----------------|
| 1/3, 35/3 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 13, 18, 19, 26, 27, 35, 41, S16, B2</u> B3 | 20/1 | 2 |
| 1/4 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 13, 18, 19, 26, 27, 35, 41, S16</u> B2, B3 | 19/2 | 1 |
| 1/5 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 18, 19, 26, 35, 41, S16</u> 13, 27, B2, B3 | 17/4 | 1 |
| 1/6 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 9/13, 10, 13, 18, 19, 26, 27, 35, 41, S16</u> 7, 12, B2, B3 | 17/4 | 1 |
| B2/3 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 9/13, 10, 13, 18, 19, 26, 27, 41, S16, B2</u> 7, 12, 35, B3 | 17/4 | 1 |
| 1/7 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 18, 19, 26, 35, 41, S16</u> 12, 13, 27, B2, B3 | 16/5 | 1 |
| 1/8 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 9/13, 10, 13, 18, 19, 27, 41, S16, B2</u> 7, 12, 26, 35, B3 | 16/5 | 1 |
| 1/9 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 19, 26, 41, S16</u> 12, 18, 27, 35, B2, B3 | 15/6 | 1 |
| 35/5 | <u>4, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 13, 18, 19, 26, 27, 35, S16</u> 1, 2, 5, 6, 41, B2, B3 | 14/7 | 1 |
| 35/4 | <u>4, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 13, 18, 19, 35, S16, B2, B3</u> 1, 2, 5, 6, 26, 27, 41 | 14/7 | 1 |
| 1/10 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 13, 19, 26</u> 18, 27, 35, 41, S16, B2, B3 | 14/7 | 4 |
| B2/4 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 13, 18, 19, 26, 27, 41, S16, B2</u> 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 35, B3 | 13/8 | 2 |
| 1/11 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 13, 19, 26</u> 12, 18, 27, 35, 41, S16, B2, B3 | 13/8 | 16 |
| 1/12 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 13, 19</u> 12, 18, 26, 27, 35, 41, S16, B2, B3 | 12/9 | 1 |
| 1/13 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 19</u> 13, 18, 26, 27, 35, 41, S16, B2, B3 | 12/9 | 2 |
| 35/6 | <u>4, 7, 8, 9, 9/13, 10, 12, 18, 19, 35, S16, B2</u> 1, 2, 5, 6, 13, 26, 27, 41, B3 | 12/9 | 1 |
| 1/14 | <u>1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9/13, 10, 19</u> 12, 13, 18, 26, 27, 35, 41, S16, B2, B3 | 11/10 | 3 |
| 35/7 | <u>7, 35</u> 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 9/13, 10, 12, 13, 18, 19, 26, 27, 41, S16, B2, B3 | 2/19 | 9 |

esetén pedig – mint látható – kétszer-háromszor több az eltérő epitópok száma, mint az azonosaké. Tehát ezekből a típusokból érdemes rekombináns adenovíruspárokat készíteni a recipiens szervezet immunválasza káros hatásának csökkentése vagy elkerülése céljából (2, 3, 9).

Az IT-specifikus epitópok valószínű számának és lokalizációjának a meghatározására Hudecz Ferencsel (MTA Peptidkémiai Kutatócsoport, ELTE) együttműködésben számítógépes epitóp-predikciós eljárásokat végeztünk a 2-es és 41-es típusú humán adenovírus-hexonfehérje aminosav-szekvenciáján a β -kanyarképző készség és a hidrofilitási profil által meghatározott potenciális epitóp-szekvenciák kiválasztásával (2. ábra) (14). Mindkét típusban találtunk közösen

Az adenovírusok intertípus-specifikus epitópjainak összehasonlítása

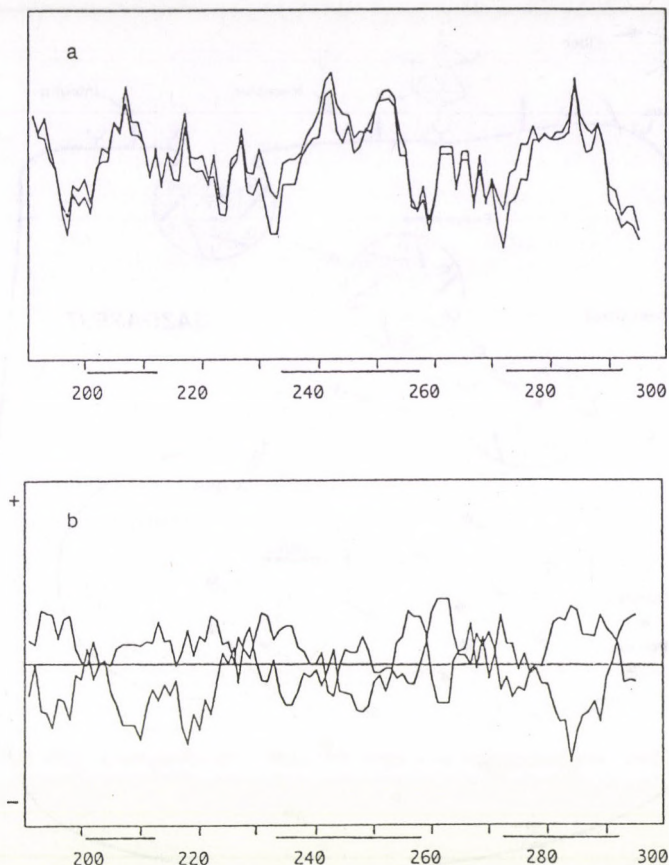
| Epitópok száma | | | 17 | 16 | 14 | 14 | 12 | 11 | 11 | 11 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 |
|----------------|-------------|------|--------|----------------|------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Adenovírus | | | 4, 19 | 8, 9, 9/13, 10 | 1, 2, 5, 6 | 7 | S16 | 18 | 26 | 13 | 12 | 35 | 41 | 27 | B2 |
| szub-típus | | | genusz | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 8,9,9/13,10 | D | 16/1 | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 1, 2, 5, 6 | C | 14/3 | 13/4 | | | | | | | | | | | |
| 14 | 7 | B | 13/5 | 13/4 | 10/8 | | | | | | | | | | |
| 12 | S16 | SAdV | 12/5 | 11/6 | 9/8 | 8/10 | | | | | | | | | |
| 11 | 18 | A | 11/6 | 10/7 | 8/9 | 7/11 | 11/1 | | | | | | | | |
| 11 | 26 | D | 11/6 | 10/7 | 10/5 | 8/9 | 9/5 | 8/6 | | | | | | | |
| 11 | 13 | D | 11/6 | 10/7 | 9/7 | 7/11 | 8/7 | 8/6 | 8/6 | | | | | | |
| 9 | 12 | A | 9/8 | 9/7 | 6/11 | 9/5 | 7/7 | 6/8 | 6/8 | 5/10 | | | | | |
| 9 | 35 | B | 8/10 | 8/9 | 5/13 | 8/7 | 8/5 | 8/4 | 6/8 | 5/10 | 6/6 | | | | |
| 8 | 41 | F | 8/9 | 7/10 | 8/6 | 5/12 | 8/5 | 7/5 | 7/5 | 5/9 | 4/9 | 4/9 | | | |
| 7 | 27 | D | 7/10 | 6/11 | 6/9 | 3/15 | 7/5 | 7/4 | 6/6 | 7/4 | 3/10 | 4/8 | 5/5 | | |
| 7 | B2 | BAdV | 7/10 | 6/11 | 5/11 | 3/15 | 7/5 | 7/4 | 4/10 | 6/6 | 3/10 | 4/8 | 4/7 | 5/4 | |
| 1 | B3 | BAdV | 1/16 | 1/15 | 0/15 | 1/13 | 1/11 | 1/10 | 0/12 | 1/10 | 1/8 | 1/8 | 0/9 | 0/8 | 1/6 |

jelenlévő, azonos vagy hasonló aminosav-szekvenciával rendelkező, potenciális IT-specifikus epitópokat, de találtunk 17 nem közös, csak egyik típuson prediktálható potenciális epitópot is, amely a hexonfehérjén még nagyobb számú epitóp létezésének lehetőségére hívja fel a figyelmet, mint ami monoklonális ellenanya-

Prediktált szekvenciális B-sejt epitópok

| HAdV-2 aminosav-szekvencia és pozíció | | | HAdV-41 aminosav-szekvencia és pozíció | | |
|---------------------------------------|--|---------|--|--------------------------------|---------|
| • | ARATETYFSL*NN | 31-42 | • | ATDYFSLGNKFRNPTVA | 33-50 |
| | VAPTHDVTTRS | 49-59 | | RGVLDRGPSFKPYSGTAYN | 103-121 |
| | RGVLDRGPTFKPYSGT | 103-118 | | SL APKTAPNSCEWKDNN KI | 122-140 |
| | NALAPKGA PNSCE | 121-133 | | APFIGTNINKDNGIQIG | 146-162 |
| SP1 | QAKPVYADPSYQPEP | 200-214 | • | EPQVGQTQWNSEV | 179-191 |
| | LKKTT PMKPCYGS YARPTNPFGGQS | 234-258 | | KDT TPMLPCYGS YAKP | 203-218 |
| | LQFFSNTTSLNDRQGNATK | 274-292 | | GQASLITNGTDQT | 224-236 |
| | DTHLSYKPGKGDENS | 308-322 | | QFFALPSTPNEP | 244-255 |
| •• | AMLGQQSM PNRPNY | 324-337 | • | LLTQQAAP NRPNYIGF | 289-304 |
| | FIGLMYYNSTGNMG | 344-357 | | N FIGLMYYNSTGNM | 307-320 |
| | VDLQDRNTELSYQ | 370-382 | | QLMLDALGDRSRYFSMW | 346-362 |
| | WNQAVDSY DPDV | 398-409 | | WNQAVDSY DPDV | 362-373 |
| SP2 | YQAIKANGNGSGDNDGTTW | 437-455 | • | GVEDELPNYCFPLGGSA | 380-397 |
| | NVEISDNPN TYDMNK | 506-521 | | VNIGARWSPDPMDNVNPFNHH | 490-510 |
| | | | | RYRSMLLNGGRYV | 516-528 |
| | | | | WLLLPGSYTYEW | 543-555 |
| • | MVLQSSSLGNDLR VD | 606-619 | • | NMILQSSSLGNDLRV | 562-575 |
| | LEAML RNDTNDQSFNDYL | 645-662 | | LEAML RNDTNDQSFNDYL | 602-619 |
| | KTKETPSLGSYDPYTYSGSIPYLD | 699-724 | | | |
| | KVAIT EDSSVSWPGNDRL | 735-752 | | SIM FDSVSWPGNDRL | 694-709 |
| | FEIKRSVDGEGY | 758-769 | | FEIKRTVDGEGYN | 715-727 |
| | | | | IQMLSHYNIQYQGF YV | 740-755 |
| | | | | VTLPFQ HNSSGFVGY | 789-803 |
| | VGILHQ HNSSGFV | 832-844 | | | |

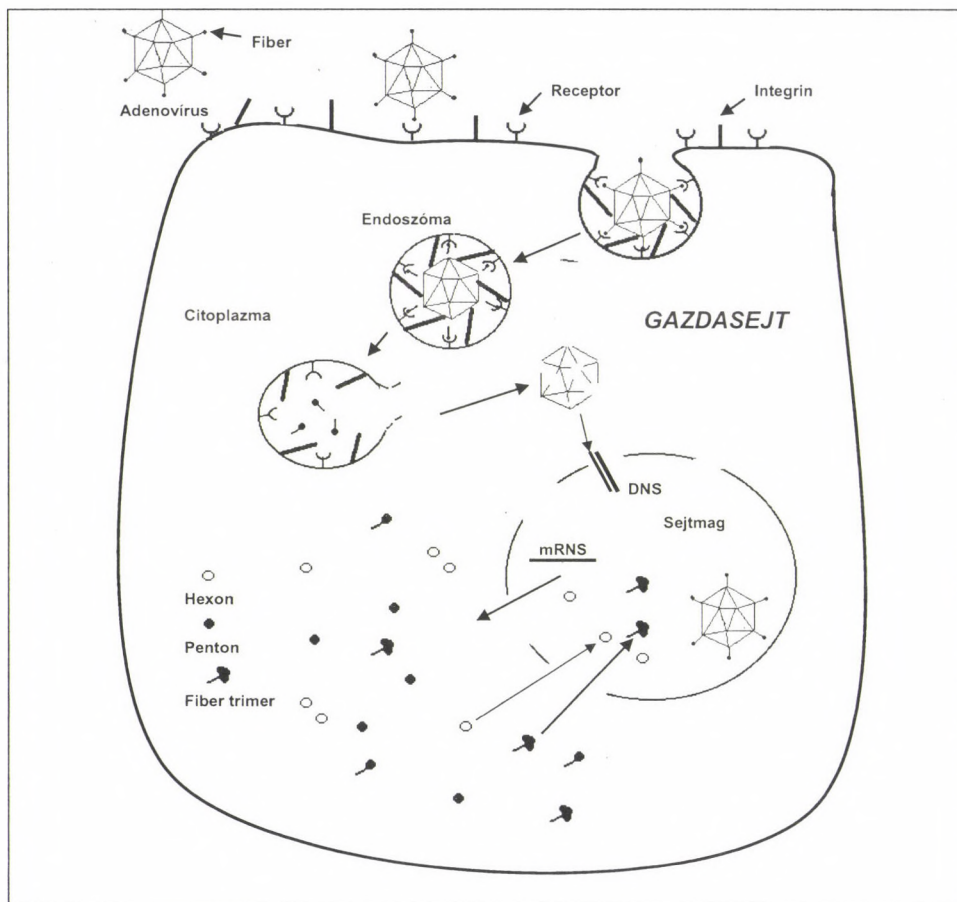
* öt vagy több aminosavból álló azonos szekvenciasorrend



2. ábra. A 2-es típusú adovírus-hexon aminosav-szekvenciájának 190–300 közötti része β -kanyarképző képességének (a) és hidrofilitásának (b) predikációja. Az adott aminosav-szekvencián a három potenciális epitóp-részletet aláhúzás jelöli

gok segítségével kimutatható volt (5. táblázat). A prediktált epitópok szekvenciasorszáma alapján meghatároztuk az epitópok helyzetét is a komplett hexont alkotó három, azonos fehérjealegység háromdimenziós modelljén is.

Az antigenitás és az immunogenitás vizsgálata céljából két prediktált epitóp-nak megfelelő peptidet szintetizáltunk és carrierhez konjugáltunk a Hudecz Ferencel, illetve Mező Imrével és munkatársaikkal való együttműködés során (15). Az egyik szintetizált peptid (SP1) csak a 2-es típusban került prediktálásra, hasonló vagy rokon szekvenciák nem találhatók sem a 41-es, sem 15 más, különböző típusú hexonban sem (5. táblázat). A másik szintetizált peptid (SP2) mindkét típusban prediktálásra került, és részben teljesen homológ, részben szoros rokonságot mutató szekvenciák voltak találhatóak 15 más típusú hexonban is. A szintetizált peptid-carrier konjugátumokkal a tisztított hexonok ellen termelt egyes

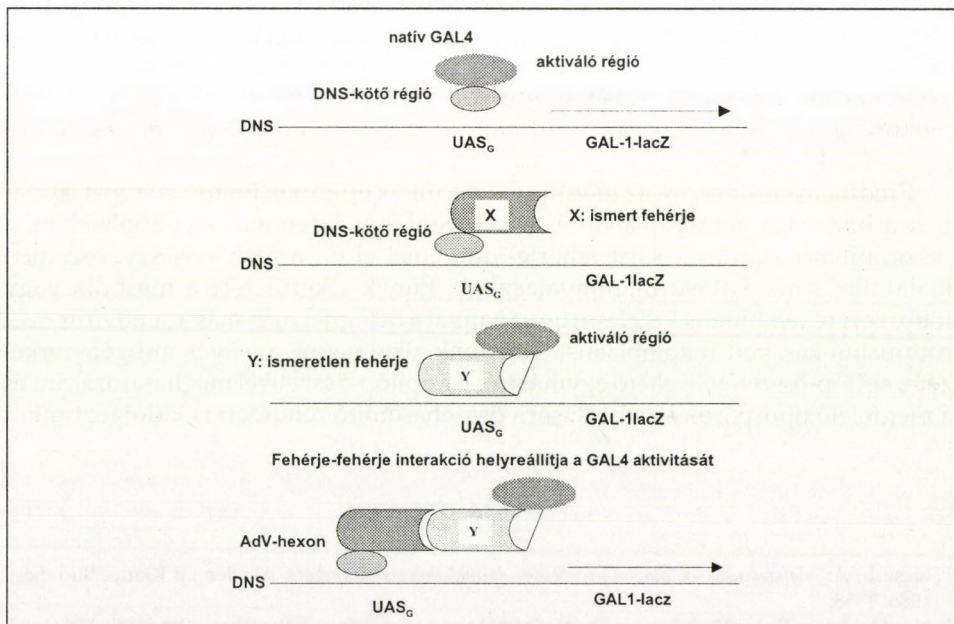


3. ábra. Az adenovírusok bejutása a gazdasejtbe. A nyúlványok végén levő gömbszerű képződmény kapcsolódik a sejtmembrán felszínén levő receptorhoz. Ezután az integrinek segítségével, a sejtmembrán betüremkedése következtében, egy endoszómába zártan bejut a citoplazmába, majd az endoszóma fala és a vírus fehérjeburka szétöredez, kiszabadul a vírus-DNS, és bejut a sejt magjába. Innen specifikus mRNS-molekulák vándorolnak a citoplazmába, a különböző vírusfehérje-„alkatrészek” termelésének kódolására, amelyek visszajutva a sejtmagba, kialakítják a komplett, fertőzőképes, új vírusokat

monoklonális ellenanyagok reakcióba léptek, és a konjugátumok ellen termelt antitestek felismertek különböző típusú, tisztított, natív hexon-antigéneket ELISA-reakcióban. Tehát a szintetizált biokonjugátumok antigén és immunogén tulajdonságúnak bizonyultak. További hasonló és más jellegű vizsgálatok – az epitópok szerkezetének és tulajdonságainak tanulmányozása céljából – újabb 4 szintetizált peptiddel is folyamatban vannak (11). A szintetizálásra olyan aminosav-szekvenciákat választottuk ki, amelyek azonosak, illetve részben azono-

sak voltak a vizsgált hexonok aminosav-szekvenciáin, valamint egy olyan konzervált szekvenciát is, amelyet egyik típuson sem jeleztek az eljárások potenciális epitópnak, de sok adenovírus-hexontípus aminosav-szekvenciáján megtalálhatóak voltak. A szintetizált szekvenciákat az 5. táblázaton, SP1 és SP2 jelek, valamint pontok jelzik. A két ponttal jelzett szekvenciát az alkalmazott eljárások nem jelezték potenciális epitópnak. Az újonnan szintetizált peptidekkel szemben ellenanyag-termelés is kiváltható volt, és az antipeptid ellenanyagok kötődtek a különböző adenovírus-hexonok egyes epitópjaihoz.

Az adenovírus-fertőzések patomechanizmusának területén arra vonatkozóan vannak folyamatban vizsgálatok, hogy a fertőzési folyamat melyik szakaszában melyik vírusfehérje melyik sejtfehérjével lép kapcsolatba az új vírusrészecskék termelődése folyamán. Először a víruspartikula részben a receptorok, részben az integrinek segítségével bejut a sejtbe, ezután a vírus-DNS a fehérjeburokból kiszabadulva bejut a sejtmagba, ahol mRNS képződik róla, majd az mRNS visszakerül a citoplazmába, ott irányítja a különféle vírusfehérjék termelését, amelyek az érett vírusrészecskék kialakításához visszajutnak a sejtmagba (3. ábra). Ez alatt a folyamat alatt számos különböző vírusfehérje léphet interakcióba számos különböző sejtfehérjével. Ezt a kérdést először a hexonfehérje vonatkozásában tettük vizsgálat tárgyává az ún. két-hibrid rendszer (THS, Two Hybrid System) segítségével. Ez a módszer azon alapszik, hogy a *Saccharomyces cerevisiae* Gal4-es transzkripció



4. ábra. Két-hibrid rendszer működésének elve két különböző – vírus- és sejteredetű – fehérje interakciójának kimutatása céljából

faktora két régióból áll: DNS-kötő és aktiváló régióból. A natív Gal4 aktiválja egy riporter gén (pl. β -galactosidase) expresszáldását (16). A két régió génje egymástól elválaszthatók, plazmidba építhetők, és ismert vagy ismeretlen fehérjék köthetők hozzájuk génszinten. A DNS-kötő részhez kötjük a hexon gént (első hibrid), az aktiváló részek egy-egy példányához pedig külön-külön, sok-sok ismeretlen sejtfehérje gént tartalmazó cDNS-könyvtárból más-más sejtfehérje génje kötődik (második hibrid). Élesztősejtben való expresszáldás után ebből a sejtfehérje-halmazból a DNS-kötő rész fehérjeje maga választja ki azt az aktiváló rész- és sejtfehérje-hibridet, amelynek fehérje-része képes interakcióba lépni a DNS-kötő részhez kötődött ismert vírusfehérjével (hexon), és ezáltal helyreáll a Gal4-es transzkripciós faktor aktivitása (4. ábra). A riporter gén működése alapján kiválasztható az a sejt, amelyikben az aktív Gal4 transzkripciós faktor van, és az ismeretlen sejtfehérje génje szeparálható, szekvenálható és ezáltal az ismeretlen fehérje meghatározható. A rendszer működéséhez szükséges cDNS-könyvtár az ACT11 lambda fág és a 293 sejt vonal felhasználásával már elkészült, $1,34 \cdot 10^6$ eredeti klónt tartalmaz, melyek több mint 80%-a inzerttel is rendelkezik. A rendszer másik tagja, az ún. csali-fehérje (ebben az esetben az adenovírus-hexonfehérje) génjének pAS2, ill. pAS2-1 vektorokba való klónozása folyamatban van.

Röviden összefoglalva eredményeinket: monoklonális ellenanyagok segítségével kimutattuk, hogy az adenovírus-hexonfehérjén legalább 18, különböző intertípus-specifitású, korábban nem ismert epitóp létezik. A hexon polipeptid alegységének aminosav-szekvenciáján végzett számítógépes predikciós eljárásokkal meghatároztuk a potenciális intertípus-specifikus epitópok aminosav-szekvenciáit. Ezek egy részét szintetizáltuk, és carrier-molekulákhoz kötött biokonjugátumok formájában tanulmányozva, bizonyítottuk antigén- és immungén-képességüket.

Eredményeink szerint az intertípus-specifikus epitópok fontos szerepet játszanak a kísérletes génterápiában és a rekombináns adenovírus-védőoltásban, a rekombináns vektorok saját fehérje-antigénjei ellen a recipiens szervezetben kialakuló, káros hatású immunválaszban. Ennek elkerülésére a második vagy többszöri rekombináns kezelésre ugyanannál a betegnél más-más adenovírus-szerotípusból készített rekombinánszt javasolunk alkalmazni, amelyek antigén-szerkezete, epitóp-összetétele eltérő egymástól. Az epitóp-összetétel meghatározására és a megfelelő típuspárok kiválasztására összehasonlító rendszert is kidolgoztunk.

Irodalom

1. Nász I.: Az adenovírusok patológiai jelentősége és molekuláris szerkezete, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986. 1–58.
2. Nász I.–Ádám É.: Újabb fejlemények és irányzatok az adenovírus-kutatásban. *Orv Hetil.*, 138 (1997) 43 2711–2724.
3. Ádám É.–Nász I.: A rekombináns adenovírusok jelentősége a kísérletes génterápiában. *Orv Hetil.*, 136 (1995) 15, 755–761.
4. Randrianarison-Jewtoulkoff, V.–Perricaudet, M.: Recombinant adenoviruses as vaccine. *Biologicals*, 23 (1995) 145–157.

5. Siegfried, W.: Perspectives in gene therapy with recombinant adenoviruses. *Exp. Clin. Endocrinol.*, 101, (1993) 7–11.
6. Nász, I., Ádám, É.: Characterization of the antigenic structure of adenovirus hexons by means of monoclonal antibodies. *UNESCO-ROSTE Techn. Rep.*, 6 (1991) 66–79.
7. Ádám, É., Nász, I., Lengyel, A.: Antigenic homogeneity among the adenovirus hexon types of subgenus C. *Arch. Virol.*, 140 (1995) 1297–1301.
8. Ádám, É., Nász, I., Lengyel, A.: Diversity in the antigenic structure of different hexon types among the members of adenovirus subgenus D. *Acta Microbiol. Immunol. Hung.*, 42 (1995) 85–92.
9. Ádám, É., Nász, I., Lengyel, A.: Characterization of adenovirus hexons by their epitope composition. *Arch. Virol.*, 141 (1996) 1891–1907.
10. Russel, W. C., Adrian, T., Bartha, A., Fujinaga, K., Ginsberg, H. S., Hierholzer, J. C., de Jong, J. C., Li, Q. G., Mautner, V., Nász, I., Wadell, G.: Adenoviridae. In: Murphy F. A., Faquet, C. M., Bishop, D. H. L., Ghabrial, S. A., Jarvis, A. W., Martelli, G. P., Mayo, M. A., Summers, M. D. (eds.): *Virus Taxonomy. Sixth Report of the International Committee on Taxonomy of Viruses*, Springer, Wien, New York, (1995) 128–133. (*Arch. Virol.* [Suppl.] 10.)
11. Ádám, É., Nász, I., Hudecz F., Lengyel, A., Mező, G., Dobay, O.: Characterization of intertype specific epitopes on adenovirus hexons. *Arch. Virol.*, 143 (1998) 1669–1682.
12. Douglas, J. T., Curiel, D. T.: Adenoviruses as vectors for gene therapy. *Sci. Med.* 4 (1997) 44–53.
13. Kagami, H., Atkinson, J. C., Michalek, S. M., Handelman, B., Yu, S., Bawn, B. J., O'Connell, B.: Repetitive adenovirus administration to the parotid gland: Role of immunological barriers and induction of oral tolerance. *Hum. Gene Ther.*, 9 (1998) 305–313.
14. Hudecz, K.: Prediction of B- and T-cell epitopes. In: Rajnavölgyi, É., (ed.): *Synthetic peptides in the search for B- and T-cell epitopes*. RG Landes Company, Austin, (1994) 19–30.
15. Hudecz, F.: Design of synthetic branched chain polypeptides as carriers for bioactive molecules. *Anti-Cancer Drugs*, 6 (1995) 171–193.
16. Fields, S., Sternglanz, R.: The two-hybrid system: an assay for protein-protein interactions. *Trends In Genetics*, 10 (1994) 286–292.

GERGELY LAJOS

Papilloma- és herpeszvírusok az emberi daganatokban

Intézetünkben (MTA-DOTE Tumorfórum Kutatócsoport) a herpesz- és papillomavírusok emberi daganatok előidézésében játszott szerepét tanulmányozzuk már régóta.

A nők egyik leggyakoribb malignus betegsége a cervix carcinoma. Bizonyos papillomavírusok (HPV 16, 18, 31, 33, 35, 45, 58) a cervix carcinoma előidézésében a legfontosabb rizikófaktorok tekinthetők. Ezen típusok közül világszerte leggyakoribb a HPV 16, a cervix carcinomák mintegy 50%-ában kimutatható. A papillomavírusok cirkuláris kettős fonatú DNS-genomjának korai szakasza (E) a szabályzó fehérjéket és a daganatkeletkezésben fontos onkoproteineket (E6 és E7) kódolja. A késői szakasz kódolja a struktúrfehérjéket, ezenkívül egy nem kódoló hosszú kontrollrégió is található a genomban (zur Hausen et al., 1994).

A HPV 16 DNS előzetes adatok szerint a tünetmentes fertőzésekben és jóindulatú elváltozásokban elsősorban episzomális formában van jelen, ugyanakkor a malignus daganatokban gyakran integrálódik a gazdasejt genomjába (Daniel et al., 1995). A HPV 16 DNS fizikai állapotának ismerete a betegség progressziója szempontjából fontos lehet. Az integráció folyamán a vírusgenom E1-E2 szabályzó szakasza felszakadhat (ezen a helyen történik a beépülés), ami az E6-E7 onkoproteinek fokozott termeléséhez vezet (Berumen et al., 1994).

A vírusgenom fizikai állapota az igen specifikus, de kevésbé érzékeny Southern blot-hibridizációval (SBH), illetve az E1-E2 szakasz kimutatására szolgáló érzékeny polimeráz láncreakcióval (PCR) tanulmányozható.

Cervix carcinomás betegek tumorszövetében, illetve a műtét alatt eltávolított nyirokcsomókban a HPV 16 DNS fizikai állapotának vizsgálatát mindkét módszerrel elvégeztük. Így a fizikai állapot meghatározása mellett a módszerek alkalmazhatóságát, érzékenységét is vizsgáltuk.

Hetvenöt cervix carcinomás betegtől vett mintákat analizáltunk (primer tumor és nyirokcsomó). SBH-módszerrel a betegek 29,3%-a volt HPV-16-pozitív, míg az érzékeny, a HPV 16 E7 onkoproteinjének kimutatásán alapuló PCR-módszerrel a betegek 53,3%-ában lehetett a HPV 16-ot kimutatni. Ez a korábbi hason-

ló vizsgálatokkal megegyező arány. A betegség előrehaladtával a HPV 16 DNS nagyobb mennyiségben van jelen, így az SBH- és PCR-módszerek között már nincs nagy eltérés, bár a PCR itt is érzékenyebbnek bizonyult.

Az SBH-pozitív esetekben a virális DNS fizikai állapotát (ezt speciális restrikciós enzimemésztésekkel állapítottuk meg) az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

HVP 16 DNS fizikai állapota SBH-módszerrel

| Betegek száma | Fizikai állapot | | | |
|------------------------|-----------------|--------|-----------|------------|
| | Episzmális | Kevert | Integrált | Ismeretlen |
| Primer tumor (17 eset) | 5 | 2 | 5 | 5 |
| Nyirokcsomó (8 eset) | – | 2 | 5 | 1 |
| Összesen (25 eset) | 5 | 4 | 10 | 6 |

A HPV 16 E1-régió adataink szerint gyakrabban sérül, mint az E2-, ezért az E1 kimutatása jellemzőbb a HPV 16-genom fizikai állapotára. Az E1/E2-pozitivitás (PCR-rel), valamint az SBH-módszerrel a HPV 16 DNS fizikai állapotára vonatkozó adatok közötti kapcsolatot a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat

HPV 16 DNS fizikai állapota és az E1/E2-pozitivitás közötti kapcsolat

| Esetek száma | | E1 intakt | E2 intakt |
|--------------|----|-----------|-----------|
| Episzmális | 5 | 5 | 5 |
| Kevert | 4 | 4 | 4 |
| Integrált | 10 | 7 | 9 |
| Ismeretlen | 6 | 5 | 4 |
| Összesen | 25 | 21 | 22 |

Az inakt E1- és E2-régiók hiánya biztosan az integrációra utal, de jelenlétük nem feltétlenül az episzmális vírus DNS-indikátora. Ezen régiók intaktak lehetnek tandem többszörös kópiában történő integráció esetén is. A PCR-rel kapott eredmények megerősíthetik az SBH-val kapott és a vírusgenom integrációjára utaló adatokat, de önmagában ez a módszer, az E1-E2-régió intaktságának kimutatása nem alkalmas a fizikai állapot meghatározására.

A HPV 16 E2 protein szekvenciavariációit is tanulmányoztuk.

Yamada (et al., 1977) szerint a HPV 16 LCR, E6 és L1 régiói szekvenálási-
sével a vírusok 5 variációs csoportba oszthatók: európai (E), két afrikai (Af1 és Af2), ázsiai (As) és ázsiai-amerikai (AA).

Harminc betegből származó HPV 16 DNS E2 szakaszának analízisét elvégezve, megállapítottuk, hogy 27 esetben a vírus az európai variánshoz tartozott, 3 esetben pedig az ázsiai-amerikai variánst tudtuk kimutatni. Az E2-régió transzkripció aktivitásának vizsgálata arra utal, hogy az ázsiai-amerikai variáns az európaihoz hasonlítva fokozott onkogén aktivitással rendelkezik (Veress et al., 1999).

A humán herpeszvírusok legújabb képviselőjét 1994-ben fedezték fel Kaposi-szarkómában (KS) (Chang et al., 1994), amit humán herpeszvírus 8-nak neveztek el (HHV-8). Ezzel az Epstein-Barr-vírus mellett egy újabb herpeszvírust hoztak kapcsolatba emberi daganatokkal. Hamarosan bebizonyosodott, hogy ez a vírus a KS valamennyi klinikai formájában, így a klasszikus, az AIDS-hez társult, az afrikai endémiás és a transzplantáció utáni KS-ban is kimutatható (Juhász et al., 1998). Kísérleteink első részében arra kerestünk adatokat, hogy a klasszikus Kaposi-szarkómában minden esetben kimutatható-e a vírus, valamint az egyes betegek különböző időközben vett mintáiban mindig ugyanazon vírusvariáns van-e jelen. Ez utóbbi adat esetleg utalhat a KS mono- vagy poliklonális eredetére. Erre vonatkozó adataink ugyanis ellentmondóak (Rabkin et al., 1997).

Huszonnyolc Kaposi-szarkómás mintából 25 esetben tudtuk a HHV-8 DNS szekvenciáit egy érzékenyített PCR- („nested PCR”) módszerrel kimutatni. Nem KS-mintákban, mint benignus angiómák, pyogén granulomák, melanoma és basalioma, a vírust nem lehetett kimutatni. A KS korai fázisában, feltehetően a jellemző KS-sejtek kicsiny száma miatt, a vírus nehezebben mutatható ki. A PCR-rel a feltételezhetően kisebb kapszid fehérjét kódoló génszakaszt mutattuk ki. Az ezen a részen előforduló pontmutációk számos genetikai variánst eredményezhetnek. Hat beteg esetében több (összesen 21) minta is rendelkezésünkre állt. Az ezekből származó vírus DNS SSCP-analízisével (az egyszálú DNS konformációs polimorfizmusának vizsgálata) négy jellemző variánst (a, b, c, d) tudtunk elkülöníteni. Három variánsnál szekvenciaanalízist is végeztünk (3. táblázat) a pontmutációk meghatározására.

3. táblázat

**Az eredeti szekvenciától eltérő pontmutációk a vizsgált
HHV-8 génszakaszban**

| SSCP típus | Nukleotid változások |
|------------|--|
| a | 1033 C>T 1146 G>A |
| b | 1032 C>A 1033 C>T 1132 A>G 1139 A>C |
| c | 1033 C>T |

Adataink a különböző KS-légiók klonális eredetére utalnak. A KS-sejtekben a HHV-8-genom latensen van jelen, a vírusszaporodás és az ezt esetleg követő mutációk lehetősége a minimális, a vírus DNS-analízisével a KS klonalitása jól tanulmányozható, a vírusgenom rendszeres jelenléte pedig ennek patológiai jelentőségét mutatja. A vírussal való átfertőzöttség mérésére elsősorban a szerológiai vizsgálatok alkalmasak. Az ún. latens nukleáris antigént (LNA) olyan HHV-8 génszakasz kódolja, melynek nincs más ismert herpeszvírusokban homológia (Russo et al., 1996), így az általa kiváltott ellenanyagválasz a HHV-8-fertőzés specifikus markere. Az ellene termelődő ellenanyagok a HIV-pozitív egyénekben a KS későbbi kifejlődését is prognosztizálják, az anti-LNA ellenanyagok előfordulása és a KS-epidemiológia jó megegyezést mutat (Kedes et al., 1996). Saját vizsgálatainkban indirekt immunfluoreszcens módszerrel az anti-LNA ellenanyagokat tanulmányoztuk egészséges véradókban, vesetranszplantált betegekben és a klasszikus Kaposi-szarkómában (4. táblázat).

4. táblázat

Anti-HHV-8 LNA ellenanyagok kimutatása

| Vizsgált csoportok | | anti-LNA-pozitívak száma százaléka | |
|--------------------------|---------|--|------|
| Véradók | 1000 fő | 18 | 1,8% |
| Vesetranszplantáltak | 235 fő | 5 | 2,1% |
| Kaposi-szarkómás betegek | 10 fő | 9 | |

Eredményeink hasonlóak a más országokban megfigyelt adatokhoz. Egészséges amerikai populációban 1-2%, Kaposi-szarkómás betegekben kb. 90%-ban mutatható ki LNA-specifikus ellenanyag a betegek szérumában (Kedes et al., 1996).

Jelentős különbségeket találtunk az ellenanyagok titereiben is. Egészséges szeropozitív egyéneknél a titerek 1:40–1:640 értékek között változtak, a KS-betegeknél viszont igen magas titereket (1:2560–1:5120) találtunk, ami az ezen betegekben lezajló aktívabb fertőzésre mutat.

A transzplantált betegeknél talált szeropozitivitási érték megegyezett az egészséges egyéneknél észlelttel. Követéses vizsgálatok szerint a szerokonverzió a transzplantáció után későn (> 300 nap) jelentkezett, ezért a donorvesével való vírusszaporodás nem valószínű. Az 5 anti-LNA-szeropozitív transzplantált betegnél kettőben kifejlődött a Kaposi-szarkóma, ez ismét a vírus ezen daganat keletkezésében játszott szerepére utal egyéb, még ismeretlen faktorok mellett. Ezt a két beteget ugyanis anti-CD-3-terápiában részesítették, ez egyéb latens herpeszvírusok reaktivációját is okozhatja. A másik három anti-LNA-pozitív beteg nem részesült ilyen kezelésben. Az anti-LNA ellenanyagok fokozódó titere a szervezeten belül a HHV-8-fertőzött sejtek elszaporodását jelentheti.

További vizsgálatainkban szeretnénk tanulmányozni a genetikai faktorok HHV-8-fertőzésben játszott szerepét.

Irodalom

- Berumen, J., Casas, L., Segura, E., Amezcua, J. L. and Garcia-Carranca, A.: Genome amplification of human papillomavirus types 16 and 18 in cervical carcinomas is related to the retention of E1/E2 genes. *Int. J. Cancer*, 56 (1994) 640–645.
- Chang, D. Y., Hsieh, C. Y., Chen, R. J., Lee, S. C. and Huang, S. C.: Comparison of detection of human papillomavirus 16 DNA in cervical carcinoma tissues by Southern blot hybridisation and nested polymerase chain reaction. *J. Med. Microbiol.*, 43 (1995) 430–435.
- Chang, Y., Cesarman, E., Pessin, M. S., Lee, F., Culpepper, J., Knowles, D. M., Moore, P. S.: Identification of herpesvirus-like DNA sequences in AIDS-associated Kaposi's sarcoma. *Science*, 266 (1994) 1865–1869.
- Daniel, B., Mukherjee, G., Sesheadri, L., Vallikad, E. and Krishna, S.: Changes in the physical state and expression of human papillomavirus type 16 in the progression of cervical intraepithelial neoplasia lesion analysed by PCR. *J. Gen. Virol.*, 76 (1995) 2589–2593.
- Juhász, A., Remenyik, É., Szarka, K., Veress, Gy., Hunyadi, J. and Gergely, L.: Consistent polymerase chain reaction-single-strand conformation polymorphism pattern of human herpesvirus-8 in the course of classical Kaposi's sarcoma assumes its clonal origin. *J. Med. Virol.*, 54 (1998) 300–304.
- Kedes, D. H., Operskalski, E., Busch, M., Kohn, R., Flood, J., Ganem, D.: The seroepidemiology of human herpesvirus 8 (Kaposi's sarcoma-associated herpesvirus): distribution of infection in KS risk groups and evidence for sexual transmission. *Nat. Med.*, 2 (1996) 918–924.
- Rabkin, C. S., Janz, S., Lash, A., Coleman, A. E., Musaba, E., Liotta, L., Biggar, R. J., Zhuang, Z.: Monoclonal origin of multicentric Kaposi's sarcoma lesions. *The New England Journal of Medicine*, 336 (1997) 988–993.
- Russo, J. J., Bohenzky, R. A., Chien, M. C., Chen, J., Yan, M., Maddelna, D., Parry, J. P., Peruzzi, D., Edelman, I. S., Chang, Y., Moore, P. S.: Nucleotide sequence of the Kaposi's sarcoma-associated herpesvirus (HHV8). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93 (1996) 14862–14867.
- Veress, Gy., Szarka, K., Dong, X-P., Gergely, L., Pfister, H.: Functional significance of sequence variation in the E2 gene and in the long control region of human papillomavirus type 16. *J. Gen. Virol.*, (1999) (közlés alatt).
- Yamada, T., Manos, M. M., Peto, J., Greer, C. E., Munoz, N., Bosch, F. X. and Wheeler, C. M.: Human papillomavirus type 16 sequence variation in cervical cancers: a worldwide perspective. *Journal of Virology*, 71 (1997) 2463–2472.
- Zur Hausen, H. and De Villiers, E. M.: Human papillomaviruses. *Annu. Rev. Microbiol.*, 48 (1994) 427–447.

A sejtszaporodás és a sejthalál szabályozását meghatározó tényezők a malignus daganatokban

A kutatási feladatok indokolása és célkitűzései

A patológiai elváltozások jelentős hányadában a sejtszaporodás mértéke, jellege (expanzív, invazív) és szabályozatlansága, valamint a sejtpusztulás kiemelkedő szerepet tölt be. Az elmúlt években különösen nagy érdeklődés veszi körül az invazív sejtszaporodás, a metasztázis és az aktív sejthalál kapcsolatát, mivel a malignus sejtpopuláció nagyságát a szervezetben a kettő közötti egyensúlyi állapot határozza meg. Ennek a felismerésnek tulajdonítható, hogy közel tíz esztendeje széles körű kutatás folyik az aktív sejthalál molekuláris mechanizmusainak felderítésére, hogy a daganat elleni terápia újabb támadási pontra irányulhasson (1–4). A közelmúltban több kutatócsoport arra a következtetésre jutott, hogy az extracelluláris mátrix (ECM) nemcsak a szöveti szerkezet kialakításáért felelős, hanem emellett közreműködik a sejtek életképessége fenntartásában is, és jelentős szerepet játszik az áttétképzésben (5–7). Az ECM szerteágazó hatását a sejt életére egyfelől a sejtek közötti kapcsolatteremtésen keresztül, másfelől a sejt citoszeletális rendszerének befolyásolása útján valósítja meg. Több patológiai esemény jellemzője az extracelluláris állomány módosulása. Ennek egyik megnyilvánulása, amikor a malignus kórképekben a tumorsejtek vagy a tumort körülvevő mesenchymalis sejtek proteolitikus enzimek hatására, valamint a proteoglikánok fokozott képződése miatt a tumorsejtek invazív növekedése számára kedvező mikrokörnyezet alakul ki (7–10). Feltételezhető, hogy az extracelluláris mátrix egyes komponensei szerkezeti és működésbeli változásainak tulajdonítható a tumorsejtekben megfigyelhető fordított összefüggés a metasztázist képző és az apoptózisra való hajlam között (11). Az elmúlt évtized tumorbiológiai kutatásainak eredményei arra utalnak, hogy a daganatos sejtpopuláció invazív növekedésének jellemzéséhez elengedhetetlen az apoptózis mechanizmusának a megértése. Az aktív sejthalál egyes típusainak kialakulását irányító molekuláris mechanizmusok ismerete hasznosítható a malignus progresszió prognosztikájának megítélésében, valamint a daganat elleni gyógyszerek hatástani vizsgálatában (12, 13).

Munkacsoportunk több mint egy évtizede megállapította, hogy a tumorsejtek proteoglikán-termelése kapcsolatba hozható metasztázis-képzési tulajdonságaikkal (14). Ebből következtethetően a proteoglikánok szintézisét gátló hatóanyagokkal az áttétképzés jelentősen csökkenthető (12). Ugyancsak intézetünk munkatársai szolgáltatottak újabb bizonyítékot az apoptózis szerepére a hormonok daganatnövekedést korlátozó hatásában (15).

A fentiekben röviden körvonalazott vizsgálati eredményekre építve, *munkacsoportunk célkitűzése a malignus tumorsejtek apoptózis-indukálhatóságában és metasztatizáló képességében szerepet játszó folyamatok jellemzése. A malignus tumorsejt mindkét sajátosságának tanulmányozásakor az extracelluláris állomány szerepére vonatkozóan kívánunk új adatot szerezni, amely hozzásegíthetne az áttétképzés és a csökkent apoptózis-készség mechanizmusai lehetséges közös vonásainak megértéséhez.*

A jelenleg folyó kutatási munkákban az aktív sejthalálnak a daganatok keletkezésében és progressziójában betöltött szerepének újabb sajátosságait kívántuk felderíteni. Az extracelluláris mátrix és a tumorsejtek közötti kapcsolat kutatása során elemeztük a bazálmembrán lebontásáért felelős kollagenáz IV (MMP-2 és MMP-9) működését, valamint az ECM egyes alkotórészeinek (proteoglikánok, fibronectin, kollagén IV) és azok sejtfelszíni receptorainak szerepét a malignus progresszióban. Ezen belül különös figyelmet fordítottunk a proteoglikánok és az általuk raktározott növekedési faktorok (TGF- β , bFGF, HGF) celluláris és sejtmagi változásokat (pl. topoizomeráz-aktivitás) kiváltó hatásaira.

Az apoptózis szerepe a daganatok keletkezésében és progressziójában

HCV-fertőzött emberi májszövetekben tanulmányoztuk a sejt-proliferáció és a sejtpusztulás megjelenésének gyakoriságát és időbeli alakulását. A sejt-proliferáció aktivitását a Ki-67, PCNA és cyclin A ellenanyagokkal, míg az apoptózist az apo-1 receptor kimutatását szolgáló CD95 antitesttel és TUNEL-reakcióval vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a hepatotróp vírusfertőzés mind az apoptózis, mind a sejt-proliferáció fokozódását eredményezi (16, 17). Újdonságértékűnek tartjuk azt a megfigyelésünket, miszerint a HCV indirekt citopatogén hatása mellett a lipid-anyagcserén keresztül direkt citopatogén hatást is kifejt (18). Vizsgálataink arra is igazolást szolgáltatottak, hogy a proliferáló tumorsejtek gyakorisága azokban az emberi hepatoblastomákban a legmagasabb, amelyek kevésbé differenciáltak, és az embrionális sejtpopuláció szövettani képét mutatják. Ennek hátterében feltehetően szerepet játszik az, hogy a máj egyik fontos növekedési faktora, a TGF- α (transzformáló növekedési faktor- α) repressziója magasabb a lassabban proliferáló (fetális típusú), mint a gyorsabban proliferáló (embrionális jellegű) hepatoblastomákban (19, 20).

Az aktív sejthalál különböző formáinak jellemzése és befolyásolásuk lehetőségét nyújtott molekuláris szintű mechanizmusuk újabb útjainak megismerésére. Ennek során az aktív sejthalál nem apoptotikus formájának indukálhatóságát le-

hetett megállapítani tyrphosthin-származékok jelenlétében (21). Az etopozid kiváltotta aktív sejthalál mechanizmusában következtetni lehet a kaszpáz 3 szerepére, amelynek működését 2-bis-kloro-etil-nitrozourea-val fel lehetett függeszteni (22–24).

Az ECM alkotórészeinek tumorbiológiai szerepe

Megfigyeltük, hogy az ECM jelentősen befolyásolja a tumorsejtek szaporodását, életképességét és a HT-1080 fibrosarcoma-sejtek fenotípusát. Megállapítottuk, hogy az ECM fizikai állapotától függetlenül befolyásolta a sejtek proliferációs aktivitását: a mitózisszám csökkent, a tenyészet növekedése lelassult, a G_2 fázisú tumorsejtek aránya nagymértékben csökkent. Az ECM-komponensek gél vagy filmszerű bevonat (ún. „coating”) állapotban fokozták a tumorsejtek ellenálló képességét a citosztatikus (UV, cisplatin) behatással szemben. A tumorsejtek működésbeli változásai mellett az ECM megváltoztatja a HT-1080 fibrosarcoma-tenyészet morfológiáját is, mert a sejtek aktív mozgásukkal egymáshoz szorosan kapcsolódva, hálószerű elrendeződést alakítanak ki, amely a kollagenáz IV (MMP-9) génszerkezet alapján tervezett antiszenz oligodezoxinukleotiddal megakadályozható (25). Ez a megfigyelésünk is arra utal, hogy az ECM tumorbiológiai szerepének elemzésekor számba kell venni a proteázok működését. Ezt a szempontot követve figyeltünk fel arra, hogy az MMP-9 aktivitása a HT-1080 fibrosarcoma-tenyészetnek csak az exponenciális növekedési szakában indukálható forbolészterrel, de a nyugvó szakban szekretálódik.

Ehhez a vizsgálati körhöz kapcsolódóan több citokin hatását vizsgáltuk különböző eredetű és biológiai viselkedésű emberi melanoma-sejtek osztódására és a tumorprogresszió szempontjából fontos egyéb tulajdonságaira. A TGF- β és a TNF- α kifejezett, az IL-1 és a hepatocita növekedési faktor (HGF) mérsékeltebb antiproliferatív hatással rendelkezett, amellyel szemben azonban néhány sejtvonal rezisztens volt. Ez utóbbi rezisztencia nem függött össze a sejtvonalak eredetével, illetve metasztatikus képességével, arra utalva, hogy az előrehaladott stádiumú melanomák citokinrezisztenciája relatív és tumorfüggő. A citokinek hatása a kollagenáz-termelésre (MMP-2, MMP-9) szintén sejtvonalfüggő volt. Érdekes módon a legerősebb proliferáció-gátló hatású citokinek (TGF- β , TNF- α) a kollagenáz-termelés stimulálásában is a leghatékonyabbnak bizonyultak, ami arra utal, hogy a pleiotróp citokinek egyidejűleg a tumorprogresszió szempontjából kedvező és kedvezőtlen hatást is kifejthetnek ugyanazokra a sejtekre (26).

Egyre több irodalmi adat hívta fel a figyelmet arra, hogy a proteoglikánok – elsősorban a heparánszulfát – biológiailag igen aktív molekulák (növekedési faktorok, citokinek, hormonok), és adhesiók molekulák megkötésére képesek, továbbá a sejtmagi transzkripciós faktorok jelentős része heparinkötő (6, 7). Ezek az adatok azt a lehetőséget sugallták, hogy a heparinnak fiziológiásan megfelelő heparánszulfát *in vivo* is szerepet játszhat a sejtmagi folyamatok szabályozásában. Két, a sejtproliferációban és a transzkripcióban fontos szerepet játszó magi

enzim, a topoizomeráz I és II vizsgálatát kezdtük el. Választásunkban jelentős szerepet játszott a tény, hogy mindkét molekula új terápiás célpont a daganatok gyógyszeres kezelésében. Kimutattuk, hogy a topoizomeráz I és II aktivitása nemcsak heparinnal, hanem májból izolált heparánszulfáttal is gátolható, míg a májrakból izolált heparánszulfát nem bizonyult hatásosnak. Igazoltuk, hogy a jelzett heparin képes a sejtek magjába bejutni, ott kolokalizációt mutat a kFGF-fel. A „gélshift assay” tanúsága szerint a heparin gátolja a topoizomeráz I DNS-hez történő kötődését. Proteoglikánok konfokális lézer-immunhisztokémiai vizsgálata és a magból izolált proteoglikán Western blotja arra utal, hogy kóros körülmények között bizonyos proteoglikánok (főleg decorin) kimutatható a máj- és májráksejtek magjában (27).

A decorin, az ún. kisméretű, leucingazdag proteoglikánok családjának tagja, eredetileg szekretált proteoglikánként volt ismeretes, mely a kötőszövetek fontos alkotórésze (28, 29). A TGF- β „természetes inhibitoraként” tartják számon, mint-hogy core fehérjéjén keresztül képes ehhez a citokinhez hozzákötni, s ezáltal működését – a vezető teória szerint – gátolni, azonban ezt számos kísérlet eredménye nem támasztja alá. Szintén ellentmondások fűződnek egy másik, igen elterjedt nézethez, mely szerint a decorin közvetlen antiproliferatív hatással rendelkezik. Tumorsejtek az eddigi megfigyelések szerint ritkán termelnek decorint, csak néhány speciális tumortípus (pl. egyes osteosarcoma-sejtvonalak) esetén írtak le decorin-expressziót. Az általunk vizsgált hét melanoma-vonalból hat esetben kimutattuk a decorin mRNS jelenlétét (csaknem) a teljes cDNS-szekvenciát lefedő három, különböző helyeken felismerő oligonukleotid-pár alkalmazásával, RT-PCR-technika segítségével. A decorin core proteinje ellen termeltetett poliklonális antiszérum alkalmazásával fehérjeszinten is kimutattuk a decorin-expressziót Western blot-technikával, mind sejt-lizátumokban, mind a sejtek koncentrált felülszójában. Konfokális lézermikroszkóppal néhány sejtvonal esetében a decorin intracelluláris lokalizációját figyeltük meg, míg másokon főként a sejtfelszínen volt kimutatható, gyakran a mátrixadhéziós helyeknél. Esetünkben a decorinexpresszió és az *in vitro* vagy *in vivo* növekedés között nem volt összefüggés: valamennyi sejtvonalat progresszív növekedés jellemezte *in vitro* körülmények között, és a tumor-, illetve metasztázis-képzés hiánya sem mutatott kapcsolatot a decorinexpresszióval. Jelen eredményeink nem támasztják alá azt az elméletet, miszerint a decorin a TGF- β -t gátolni képes, minthogy a decorint kifejező melanoma-sejtek szenzitívnek bizonyultak a TGF- β -nak a proliferációt és egyéb fenotípusukat érintő hatásaira.

A munkacsoport igazolta, hogy a daganatok májba történő áttétképzésében a szinuszoidális heparánszulfát proteoglikán (perlecan) meghatározó szerepet játszik (10). Ennek egyik lehetséges magyarázata az lehet, hogy a máj heparinkötő citokinjei (HGF, TGF- β , bFGF) itt akkumulálódhatnak. A HGF esetleges szerepét vizsgálva kimutattuk, hogy melanomák esetében a HGF nem stimulálja a proliferációt, és alig befolyásolja a migrációt. Ennek magyarázata az lehet, hogy melanomákban a HGF receptor kóros formában jelenik meg. Ugyanakkor colon-carcinoma-vonalak esetében beigazolódott, hogy az áttétképző képességű sejt-

vonalak proliferációját a HGF stimulálja, s csak ezekben mutatható ki az ún. „vad” típusú c-met, a HGF receptora. Az is beigazolódott, hogy a HGF biológiai hatásához elengedhetetlenek sejtfelszíni proteoglikánok ezekben a tumorsejtvonalakban.

Az ECM-alkotórészek sejtfelszíni receptorainak szerepe a malignus progresszióban

Az extracelluláris tér és a sejtek közötti jelátadás fontos közvetítői a sejtfelszíni receptorok, amelyek közül a transzmembrán proteoglikánokat (syndecan 1, CD44 izoformok) és az integrineket tanulmányoztuk.

A syndecan, amely egy heparánszulfát proteoglikán, szerkezetéből adódóan képes megkötni a bázikus aminosavakat nagy gyakorisággal clusterban tartalmazó polipeptideket. A syndecan, amely normálisan a preB- és a plazmasejteken található, a malignus B-sejtes leukémiák és lymphomák magasan differenciált csoportjaiban expresszálódik. További vizsgálatok fogják kideríteni, hogy ennek milyen jelentősége van a tumorsejt malignus fenotípusának kialakításában (30, 31).

Az integrin-család tagjai közül az $\alpha\text{IIb}\beta 3$ -t vizsgáltuk, amelynek ektópiás expresszióját elsőként mutattuk ki humán melanómában. Az $\alpha\text{IIb}\beta 3$ 4,1 kb fragmensét Northern-technika segítségével mutattuk ki. RT-PCR alkalmazásával pedig felismerhetők az αIIb gén várható 340 bázispár hosszú fragmensei. Ezenkívül konfokális lézermikroszkópos vizsgálatban az $\alpha\text{IIb}\beta 3$ -ra specifikus antitest reakciójának nyomon követésével megállapítható volt az $\alpha\text{IIb}\beta 3$ integrin intracelluláris lokalizációja és részvétele a sejt-adhéziós folyamatokban. Elsőként mutattuk ki, hogy az $\alpha\text{IIb}\beta 3$ (CD41/61) megakariociter integrin több emberi tumorsejtvonalban expresszálódik, és meghatározó szerepet játszik a sejt migrációjában, aktiválja a PKC-t, és közreműködik a hematogén áttétképzés mechanizmusában (32, 33).

A vizsgálati eredmények hasznosítása a daganatok diagnosztikájának és gyógyszeres terápiájának fejlesztésében

Az irodalmi adatokat megerősítve az apoptózis indukálhatóságának vizsgálata alkalmas eszköznek bizonyult a radio-, kemo- és hormonterápia hatékonyságának előrejelzésére (3, 13). Prognosztikai értékű összefüggést találtunk a tumorsejtek citotoxikus kezelésre kifejlődő apoptózisának mértéke és több malignus kórkép állapota között, így a gyermekkori akut limfoid leukémiában, prosztatákarcinómiában és nazofaringeális karcinómiában (15, 34–37).

Az inváziós markerek kutatása kiterjedt a bőrmelanómák és gégerákok prognózisát befolyásoló tényezőkre. Melanomák esetében az ún. metasztázis-gének közül a CD44 v3 splice variánsának megjelenése mutatott korrelációt a szervi áttétek kialakulásával és a rossz prognózissal. Gégerákok esetében kimutattuk,

hogy az igen rossz prognózisú hipofarinx-rákokban megjelenik az NM23 és az MMP-2 kollagenáz, ezzel szemben a glottikus tumorok ilyen szempontból negatívak. Mindezen adatok arra utalnak, hogy az egyes daganattípusok individuális invazív fenotípussal rendelkeznek.

Az ECM tumorbiológiai szerepének a felismerése ösztönzött új daganatterápiai támadási pontok bevezetésére a gyógyszerfejlesztési kutatásainkban (38). A tumorban a malignus progresszióval összefüggésbe hozható magas kollagenáz IV-aktivitást a kollagén-eredetű peptidet tartalmazó citotoxikus konjugátumok aktiválása eszközének tekintettük, így a szelektív tumorgátló hatás újabb lehetőségére mutattunk rá (39). Ugyanakkor a kollagenáz IV, mivel az áttétképzésben közreműködik, a daganat elleni génterápia újabb támadási pontjának ígérkezik. Ezért az MMP-9 génszerkezet ismeretében tervezett antiszenz oligodezoxinukleotid alapján Ötvös László munkacsoportja (MTA Kémiai Központ) általuk szabadalmazott, bázismódosított oligodezoxinukleotidot állított elő. Ez az antiszenz oligodezoxinukleotid szelektíven csökkentette az MMP-9 aktivitását, gátolta az MMP-9 mRNS szintézisét és a HT-1080 tumorsejtek invazív növekedését (25).

A tumorsejtek invazív növekedése befolyásolásának másik lehetőségét ismertük fel, amikor kimutattuk, hogy a HGF biológiai hatásához elengedhetetlen a sejtfelszíni proteoglikán-expresszió. Feltételeztük, hogy a HGF heparint kötő peptidszekvenciái és a heparánszulfát proteoglikán közötti kapcsolat módosításával ennek a citokinnek a hatását módosítani lehet. Ezért a munkacsoport olyan bázikus aminosavakat tartalmazó hexapeptideket tervezett és szabadalmazott, amelyek gátolni képesek a sejtproliferációt, és antiinvazív tulajdonsággal rendelkeznek.

Összefoglalás

A fentiekben igen röviden összefoglalt vizsgálatok a tumorsejtek apoptózisának és áttétképzésének újabb vonásait derítették fel, és rámutattak a malignus sejt ezen két megnyilvánulásában közreműködő celluláris, valamint molekuláris mechanizmusok sokrétűségére. Eredeti megfigyelésként értékelhető az *extracelluláris mátrix (ECM) egyes biopolimerjei receptora (integrinek, syndecan), valamint a proteoglikánok és a topoizomérázok közötti kapcsolat változásainak kimutatása* a daganatokban. Megállapítottuk, hogy az extracelluláris mátrix és a tumorsejtek közötti kétoldali kapcsolat, amely részben a proteolízisben, részben fokozott proteoglikán-termelésen keresztül valósul meg, igen jelentősen hozzájárul a malignus fenotípushoz. A daganatok molekuláris patológiai jellemzése során szerzett tapasztalatokat két területen hasznosítjuk: a klinikopatológiai vizsgálatokban a tumorsejtek apoptózis-készségét vizsgáljuk a terápiás beavatkozások esélyének megítélésére, az újabb daganat elleni terápiai lehetőségek kidolgozása céljából pedig a proteoglikánokat megkötő peptidek, valamint az MMP-9 típusú kolla-

genáz IV antiszenz oligodezoxinukleotid antimetasztikus hatásának vizsgálatát kezdeményeztük.

Úgy gondoljuk, hogy a konkrét vizsgálati eredményeken túlmenőleg munkánk egyfelől az extracelluláris térből induló sejtszabályozás eddig nem ismert mechanizmusára hívja fel a figyelmet, másfelől a malignus progressió újabb megközelítésű modellezésére ad lehetőséget.

*

A kutatásban közreműködött: Jeney András, Tímár József, Schaff Zsuzsa, Kopper László, Kovalszky Ilona, Ladányi Andrea, Pogány Gábor, Tímár Ferenc, Paku Sándor, Ráskó Erzsébet, Gallai Monika, Sebestyén Anna, Diczházi Csaba, Lapis Károly.

Irodalom

1. Steel, G. G.: *Growth kinetics of tumours*. Clarendon Press, Oxford, 1977.
2. Kerr, J. F. R., Winterford, C. M., Harmon, B. V.: Apoptosis. Its significance in cancer and cancer therapy. *Cancer*, 73 (1994) 2013–2026.
3. Jeney, A.: Apoptosis in tumor development and therapy. *CME J. Gynecology Oncology*, 2 (1997) 16–25.
4. Kopper, L., Peák, I., Sebestyén, A.: Molecular genetic basis of cancer development. *Ann. New York Acad. Sci.*, 824 (1997) 1–7.
5. Tenniswood, M.: Apoptosis and the progression of prostate cancer. In: *Accomplishments in Cancer Research* (eds: Fortner, J. G. and Sharp, P. A.) General Motors Cancer Res. Foundation. Lippincott-Raven, 1996. 270–279.
6. Meredith, J. E., Fazeli, B., Schwartz, M. A.: The extracellular matrix as a cell survival factor. *Mol. Biol. Cell.*, 4 (1993) 953–961.
7. Liotta, L., Stetler-Stevenson, W. G.: Metalloproteinases and cancer invasion. *Semin. Cancer Biol.*, 1 (1990) 107–115.
8. Tímár, J., Ladányi, A., Lapis, K., Moczar, M.: Differential expression of proteoglycans on the surface of human melanoma cells characterized by altered experimental metastatic potential. *Am. J. Pathol.*, 141 (1992) 467–747.
9. Tímár J., Tóvári, J., Szekeres, K., Kagawa, D., Honn, K. V.: Key determinants of the invasion mechanism of melanoma. Role for a new signaling pathway. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 407 (1997) 303–310.
10. Tóvári, J., Paku, S., Rásó, E., Pogány, G., Kovalszky, I., Ladányi, A., Lapis, K., Tímár, J.: Role of sinusoidal heparan sulfate proteoglycan in liver metastasis formation. *Int. J. Cancer*, 71 (1997) 825–831.
11. Glinsky, G. V., Glinsky, V. V., Ivanova, A. B., Hauser, C. J.: Apoptosis and metastasis: increased apoptosis resistance of metastatic cancer cells is associated with the profound deficiency of apoptosis execution mechanisms. *Cancer Letters*, 115 (1997) 185–193.
12. Jeney, A., Tímár, J., Pogány, G., Paku, S., Moczar, E., Ötvös, L., Kopper, L., Lapis, K.: Glycosaminoglycans as novel target in antitumour therapy. *Tokai J. Exp. Clin. Med.* 15 (1990) 167–177.
13. Dive, C., Dickman, J.: Drug target interactions. Only the first step in the commitment to a programmed cell death. *Br. J. Cancer*, 64 (1991) 192–196.
14. Pogány G., Moczar E., Jeney A., Tímár J., Tímár F., Ditrói K., Lapis K.: Comparative study on Lewis lung tumour lines with low and high metastatic capacity, III. Glycosaminoglycan synthesis, transport and degradation in cell lines. *Clin. Exp. Metastasis*, 7 (1989) 659–669.
15. Szende, B., Romics, L., Vass, L.: Apoptosis in prostate cancer after hormonal treatment. *Lancet*, 342 (1993) 1422.

16. Schaff, Zs., Lotz, G., Eder, G., Schulte-Hermann, R.: Pathomorphology and apoptosis in viral hepatitis. In: *Therapies for viral Hepatitis*. (Shinazzi, R. F., Sommadossi, J. P., Thomas, H., eds.) Int. Med Press, London, 1998 (in press).
17. Jármay, K., Szepesi, Á., Lotz, G., Lonovics, J., Karácsony, G., Ozsvár, Zs., Nagy, I., Schaff, Zs.: FAS antigen (APO1/CD95) expression in chronic hepatitis C. *J. Hepatol.*, 26 (1997) 257.
18. Barba, G., Harper, F., Harada, T., Kohara, M., Goulinet, S., Matsuura, Y., Eder, G., Schaff, Zs., Chapman, M. J., Miyamura, T., Brechot, C.: Hepatitis C virus core protein shows a cytoplasmic localization and associates to cellular lipid storage droplets. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 94 (1997) 1200–1205.
19. Kiss, A., Szepesi, Á., Lotz, G., Nagy, P., Schaff, Zs.: Expression of transforming growth factor alpha in hepatoblastoma. *Cancer*, 1998. (In press.)
20. Schaff, Zs., Lotz, G., Jármay, K.: A vírushepatitisek patológiája és patogenezise. *Orvosi Hetilap*, 138 (Suppl. 1.) 1997. 1459–1462.
21. Gaál, A., Bocsi, J., Falus, A., Szende, B., Csaba, G.: Increased apoptosis of adult rat lymphocytes after single neonatal vitamin A treatment (hormonal imprinting). A flow cytometric analysis. *Life Science (Pharmacology Letters section)*, 61 (1997) 339–342.
22. Sebestyén, A., Mihalik, R., Peták, I., Kopper, L.: Modulation of apoptosis signaling in etoposide-treated lymphoma cells. *Anticancer Res.*, 17 (1997) 2069–2614.
23. Mihalik, R., Uher, F., Peták, I., Sebestyén, A., Kopper, L.: Regulation of differentiation, proliferation and drug-induced apoptosis in HT58 lymphoma cells. *Pathol. Oncol. Res.*, 3 (1997) 100–105.
24. Peták, I., Mihalik, R., Bauer, P., Süli-Vargha H., Sebestyén A., Kopper, L.: BCNU is a caspase-mediated inhibitor of drug-induced apoptosis. *Cancer Res.*, 58 (1998) 614–618.
25. Jeney, A., Kovalszky, I., Kopper, I., Tímár, J., Sebestyén A., Babó, I., Tímár, F., Rásó, E., Bocsi, J., Sági, J., Gruber, L., Ötvös, L.: Anticollagenase oligodeoxynucleotide (CRIC-2) modifies microinvasiveness and drug sensitivity of malignant cells. *Annals Oncology*, 7 (1996) (Suppl.) 72.
26. Ladányi, A., O. Nagy, J., Jeney, A., Tímár, J.: Cytokine sensitivity of metastatic human melanoma cell lines – simultaneous inhibition of proliferation and enhancement of gelatinase activity. *Pathol. Oncol. Res.*, 4 (1998) 108–114.
27. Kovalszky, I., Dudás, J., Oláh-Nagy, J., Pogány, G., Tóvári, J., Tímár, J., Kopper, L., Jeney, A., Iozzo, R.: Inhibition of DNA topoisomerase I. Activity by heparan sulfate and modulation by fibroblast growth factor. *Mol. Cell. Biochem.*, 183 (1998) 11–23.
28. Kovalszky, I., Nagy, O. J., Gallai, M., Sebestyén, A., Schaff, Zs., Paku, S., Jeney, A., Iozzo R. V.: Altered proteoglycan gene expression in human biliary cirrhosis. *Pathol. Oncol. Res.*, 3 (1997) 51–58.
29. Gallai, M., Kovalszky, I., Knittel, T., Neubauer, K., Ambrust, T., Ramadori, G.: Expression of extracellular matrix proteoglycans perlecan and decorin in carbon-tetrachloride injured rat liver and isolated liver cells. *Am. J. Pathol.*, 148 (1996) 1463–1471.
30. Sebestyén, A., Kovalszky, I., Mihalik, R., Gallai, M., Bocsi, J., László, E., Benedek, Sz., Sréter, L., Kopper, L.: Expression of syndecan-1 in human B cell chronic lymphocytic leukaemia. *Eur. J. Cancer*, 33 (1997) 2273–2277.
31. Kopper, L., Sebestyén, A., Gallai, M., Kovalszky, I.: Syndecan-1 – A new piece in B-cell puzzle. *Pathol. Oncol. Res.*, 3 (1997) 183–191.
32. Tímár, J., Bazaz, R., Tang, D. G., Kimler, V., Tylor, J. D., Honn, K. V.: Posttranslational regulation of surface integrin expression in tumor cells by 12(S)-HETE. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 400B (1997) 757–763.
33. Trikha, M., Rásó, E., Cai Y., Fazekas, Zs., Paku, S., Porter, A. T., Tímár, J., Honn, K. V.: Role of $\alpha 11\beta 3$ integrin in prostate cancer metastasis. *Prostate*, 35 (1998) 185–192.
34. Szende, B., Tóth, A., Perner, F., Nagy, K., Takács, K.: Clinicopathologic aspects of 8 Kaposi's sarcomas among 1009 renal transplant patients. *General & Diagn. Pathol.*, 143 (1997) 209–213.
35. Szende, B., Horváth, A., Nagy, K., Bocsi, J., Kovalszky, I., Barabás, É.: Reduction of apoptosis of in vitro cultured peripheral blood lymphocytes of HIV positive individuals by thymocartin. *Medical Sci. Monitor*, 3 (1997) 456–459.
36. Csóka, M., Bocsi, J., Falus, A., Szalai, Cs., Klujber, V., Szende, B., Schuler, D.: Glucocorticoid-induced apoptosis and treatment sensitivity in acute lymphoblastic leukaemia of children. *Pediatric Hematol. Oncol.*, 14 (1997) 433–442.
37. Lapis, K., Bocsi, J., Tímár, F., Lapis, P., Thorgeirsson, U. P.: Studies on the proliferative activity of diethylnitrosamine-induced hepatocellular carcinomas in monkeys. *J. Pathol.*, 181 (1997) 439–443.

38. Tóvári, J., Szende, B., Bocsi, J., Falaschi, A., Simoncsits, A., Pongor, S., Érchegeyi, J., Steták, A., Kéri, Gy.: A somatostatin analogue induces translocation of Ku 86 autoantigen from the cytosol to the nucleus in colon tumour cells. *Cell. Signal*, 10 (1998) 277–282.
39. Timár, F., Botyánszki, J., Süli, Vargha, H., Babó, I., Oláh, J., Pogány, G., Jeney, A.: The antiproliferative action of melphalan hexapeptide with collagenase-cleavable site. *Cancer Chemother. Pharmacol.*, 41 (1998) 292–298.

BIRÓ SÁNDOR, SIPICZKI MÁTYÁS

Molekuláris genetikai kutatások a DOTE-MTA Mikrobiális Fejlődésgenetikai Kutatócsoportnál

1. A sejtdifferenciálódás tanulmányozása Streptomycesekben

A genetika megoldatlan és alapvető kérdése a genetikai szabályozásnak egy a fehérjeszintézisnél bonyolultabb szintje, az egyedfejlődés során kialakuló szubmikroszkópos, mikroszkópos szerkezetek kialakulása, ill. a két- vagy többsejtű szervezetek fejlődésének, differenciálódásának megismerése.

A differenciálódás már egyetlen sejten belül is megfigyelhető az egyed fejlődése, az élet egyes szakaszaiban eltérő funkciók és szerkezetek létrehozása során, de általánosíthatóbb modellként a már kétsejtűnek számító spóráképző prokarióta *B. subtilis*-t használják. A DOTE Biológiai Intézetében a differenciálódás tanulmányozására mi évtizedekkel ezelőtt a Streptomyceseket választottuk. Ezen élőlény ugyanis még viszonylag egyszerű, mert prokarióta, de soksejtű szervezetnek tekinthető, amelynek morfológiai differenciálódása összetettebb, ugyanakkor mikroszkópos és szabad szemmel látható markerek segítségével jól tanulmányozható. E szervezet tanulmányozását az is indokolta, hogy az Actinomyceteselek (amely rendszertani kategóriába a Streptomycesek genusa is tartozik) termelik a gyógyászatilag forgalmazott (tehát gazdaságilag fontos) antibiotikumok legnagyobb hányadát.

A differenciálódás szabályozásában a többsejtűnek tekinthető Streptomycesek esetében először mi írtunk le olyan molekulát (1, 2), amelynek szerepét a *S. griseus* citomorfológiai fejlődése szabályozásában bizonyítottuk. A C faktornak nevezett molekula felfedezése után több, a Streptomycesek által szintetizált szabályozó tulajdonsággal bíró vegyületet írtak le, melyeket az autoregulátor összefoglaló névvel jelölnek (3, 4). Az autoregulátorok változatos szerkezetű molekulák, amelyek között a C faktor az egyedüli, homogén formában előállított fehérje. A Streptomycesek differenciálódásában szereplő fehérjék között csak az A faktor kötőfehérjének ismerjük a genetikai szabályozó hatását. E fehérjéről feltételezik, hogy a transzkripció szintjén bizonyos, a sporulációért felelős génekre gátló hatást fejt ki, és az A faktor a represszió alól szabadítaná fel a sporulációban szerep-

lő géneket, derepresszáva őket azáltal, hogy az A faktor a kötő fehérjéhez kapcsolódik.

A C faktor ellen termeltetett monoklonális ellenanyaggal kimutattuk, hogy a *Streptomyces*ekben találhatóhoz hasonló (34 és/vagy 70 kD) molekulatömegű antigén, vagy legalábbis egy doménje, ubikviter megtalálható az élővilágban, az embert is beleértve (5, 6). Ez a tény amellet szól, hogy az élővilágban konzervatív, szabályozó fehérjét találtunk, amelynek élettani jelentőségét jelzi evolúciós állandósága.

A *Streptomyces*eknél a differenciálódás és az antibiotikum-termelés közötti kapcsolatra utal a két folyamat gyakori időbeli egybeesése. Az antibiotikum-képződést sokan ún. szekunder anyagcsereterméknek tekintik. E termékek időbeli megjelenése az életciklus differenciálódási szakaszára jellemző. Az, hogy az antibiotikumok hogyan vesznek részt az őket termelő szervezetek életfolyamatainak szabályozásában, még nem ismert. Az antibiotikumokat termelő szervezetekben a primer és szekunder anyagcsere egymással való kapcsolata és ezek genetikai szabályozása, annak megértése, hogy ezek miként kapcsolódnak a morfológiai differenciálódáshoz, mindkét folyamat megismeréséhez közelebb vihet.

C faktor-specifikus PCR-próba előállítása

A C faktor fehérje 29 amino-terminális aminosav-szekvenciáját meghatároztuk. Ezen szekvencia alapján az ezt a 29 aminosavat meghatározó DNS-nek polimeráz láncreakció (PCR) segítségével történő amplifikálásához két degenerált oligonukleotid primert szintetizáltunk. A degenerált primerek tervezése azon alapult, hogy a *Streptomyces*ek kodonhasználata a DNS-ük 73%-os G+C tartalma miatt különleges, a triplettek harmadik pozíciójában 95%-os valószínűséggel G vagy C fordul elő. Ezen primerek segítségével sikerült a vártnak megfelelő méretű DNS-fragmentet felszaporítanunk. Az így nyert, amplifikált DNS-fragment szubklónozásával és szekvenálásával egyértelműen bizonyítottuk, hogy az valóban a C faktor N-terminális végének megfelelő aminosavsorrendet határozza meg. Ez alapján, a szekvencia alapján, szintetizáltunk egy olyan 39 mer hosszúságú, 5'-végén digoxigeninnel jelölt oligonukleotid próbát, mely a génnel 100%-ban homológ.

A C faktor gén klónozása és szekvenálása

A digoxigenin jelölt próbával screeneltünk egy a *Streptomyces griseus* 45H törzs DNS-éből pBluescript KS+ vektorban készített mini-génbankot, s kiemeltünk egy a próbával erősen hibridizáló klónt. Miután a klón további analízise igazolta, hogy valóban a C faktor gént izoláltuk, a 2,9 kb inszert DNS mindkét szálát egymást követő oligonukleotidok szintézisével szekvenáltuk. A kódoló régió azonosításában az ismert N-terminális szekvencia és a *Streptomyces*ek átlagostól eltérő

kodonhasználata segített. A szekvencia analízisével megállapítottuk, hogy a C faktort kódoló régió 972 nt hosszúságú, s egy 34,523 Dalton molekulatömegű fehérjét kódol. Az amino-terminális végén egy szabályos, 38 aminosavból álló szekréciós szignál szekvencia van, amely a sejtből való kijutás során levágódik, s nem része az általunk a tenyésztőfolyadékból izolált fehérjének. A szekréciós szignál nélküli fehérje molekulatömege 31,038 Dalton, ami jól megegyezik korábbi SDS gél-elektroforézissel nyert adatainkkal (2). A C faktor gén szekvenciája a GenBank adatbázisban az AF103943 regisztrációs számon érhető el. A C faktor aminosav-sorrendjét adatbázisok fehérjéinek aminosav-sorrendjével összehasonlítva, egyetlen ismert fehérjével sem tudtunk homológiát kimutatni. Így megállapíthatjuk, hogy az általunk felfedezett, a *Streptomyces* differenciálódásában szerepet játszó C faktor egy új differenciálódást szabályzó fehérje, melyet bár eddig még más fajokban nem azonosítottak, saját korábbi immuncitokémiai vizsgálataink alapján feltételezhető, hogy megtalálható.

Jelenleg folyamatban van a C faktor gén transzkripciójának analízise, mellyel a promoter régiót, transzkripció starthelyét s egyéb szabályozó elemeket azonosítunk. Ugyancsak folyamatban vannak azok a kísérletek, melyekben a gént saját promoterről, alacsony és magas kópiaszámú vektorokban, különböző differenciálódási mutánsokban kifejeztetjük, s vizsgáljuk hatását azok differenciálódására. Ezekből a kísérletekből a C faktornak a *Streptomyces* differenciálódásában betöltött szerepére, más differenciálódást szabályzó génekkel való kölcsönhatására s a sporulációt és antibiotikum-képződést szabályzó gének hierarchiájában való elhelyezkedésére kívánunk adatokat gyűjteni. (A fent említett, hivatkozásokkal alá nem támasztott adatok részletes kísérleti eredményeit is tartalmazó kézirat jelenleg készül.)

Irodalom

- (1) Szabó, G., Vályi-Nagy, T., Vitális, S.: An endogenous factor regulating the life cycle of *Streptomyces griseus*. In: *Conference on Microbial Genetics*. Moscow, 1962. Genetika Mikroorganizmov Soc. Izd. Med. Lit. 283–292.
- (2) Bíró, S., Békési, I., Vitális, S., Szabó, G.: A substance affecting differentiation in *Streptomyces griseus*. (Purification and properties). *Eur. J. Biochem.*, 103 (1980) 359–363.
- (3) Khoklov, A. S.: *Microbial Autoregulators*. Harward Academic Publishers, 1991. 37–42.
- (4) Horinouchi, S., Beppu, T.: Autoregulatory factors and communication in Actinomycetes. *Ann. Rev. Microbiol.*, 46 (1992) 377–398.
- (5) Szeszák, F., Vitális, S., Tóth, F., Valu, G., Facht, J., Szabó G.: Detection and determination of factor C - a regulatory protein - in *Streptomyces* strains by antiserum and monoclonal antibody. *Arch. Microbiol.*, 154 (1990) 82–84.
- (6) Szeszák, F., Vitális, S., Békési, I., Szabó, G.: Presence of factor C in *Streptomyces* and other bacteria. In: *Genetics and product formation in Streptomyces*. Ed. Baumberg, Krüger, Noack. Plenum Press, 1991, 11–18.

2. Fejlődésgenetikai vizsgálatok Schizosaccharomycesekben

Bevezetés

Az aszkomicétákhoz tartozó hasadó élesztőgombák a molekuláris biológiai és genetikai vizsgálatok gyakori modellszervezetei. Rendszertani besorolásukat tekintve a *Schizosaccharomycetales* rendbe tartoznak, ahol önálló családot (*Schizosaccharomycetaceae*) alkotnak, összesen három fajjal. A *S. pombe* négysspórás aszkuszokat képez, a *S. octosporus* és *S. japonicus* aszkuszaiban nyolc spóra képződik. A négysspórás fajhoz két varietas tartozik: *S. pombe* var. *pombe* és *S. pombe* var. *malidevorans*. A nyolcspórás fajok egyike három varietasszal rendelkezik: *S. japonicus* var. *japonicus*, *S. japonicus* var. *versatilis* és *S. japonicus* var. *longobardus* [rendszertani áttekintés: (1)]. Az rRNA, tRNA molekulák és számos filogenetikai értelemben konzervatívnak tekintett fehérje nukleotid-, illetve aminosav-szekvenciájának összehasonlítása alapján úgy tűnik, hogy a mai hasadó élesztőgombákhoz vezető törzsfejlődési ág mintegy 1000 millió évvel ezelőtt vált el a sarjadzó *Saccharomycetes* ágától, rövidebb idővel azt követően, hogy a tömlősgombák elváltak a metazoák őseitől (1). A két élesztőcsoportot egymástól elválasztó „filogenetikai távolság” alig kisebb, mint a köztük és az emlősök közötti távolság. A mai élő egysejtű hasadó élesztőgombákról feltételezhető, hogy fonalasán növekedő, azaz többsejtű közös őstől származnak, amely szilárd szubsztrátumon élt, és a fonalai artrokonídium-képzéssel keresztül fel tudtak darabolódni. A szilárd szubsztrátumról folyékonyra történő átváltás során a fragmentált, azaz egysejtű forma került előtérbe. A *S. japonicus* még ma is dimorf, megőrizte a micéliumképzés képességét (3). A másik két faj uniform, egysejtű növekedésű, bár a *S. pombe*-nél kiváltható fonalas növekedés is bizonyos gének inaktiválásával (4, 5, 6). A *S. pombe* és a *S. japonicus* élesztősejtjei hengeres alakúak, és a pólusaikon növekednek (7). Az osztódás a sejt közepén egy háromrétegű szeptum képzésével kezdődik, majd a szeptum középső rétegének autolitikus feloldódásával fejeződik be (8). A növekedés poláris jellege és az egysejtű, illetve többsejtű növekedési forma közötti átváltások lehetősége miatt a hasadó élesztőgombák kitűnő modellrendszerként kínálnak a sejtpolaritás kutatásához. Az alábbiakban áttekintjük a DOTE-MTA Mikrobiális Fejlődésgenetikai Kutatócsoport keretében folyó vizsgálatokat, amelyek fő célja az eukarióta citokinezis szabályozásának és a sejtpolaritás meghatározásának jobb megértése a hasadó élesztőgombák mint technikailag rendkívül előnyös modellszervezetek tanulmányozásán keresztül.

A *S. japonicus* dimorf ciklusa

A *S. japonicus* mindhárom varietasa képes arra, hogy a környezeti tényezők változásának hatására alternáljon az élesztő- és a fonalas forma között. Szilárd szubsztrátumon az élesztőforma instabil, és könnyen átalakul fonalas növekedé-

sűvé (3). Az átváltást nitrogénéhezés váltja ki, és a fonalak a nitrogénforrás irányába növekednek. A fonalas forma sem stabil. A micélium feldarabolódhat, és élesztősejteké eshet szét, ha folyékony közegbe kerül, illetve, ha a környezet hőmérséklete 35 °C fölé emelkedik (3). Az élesztőformából fonalas formába történő átváltás során a kétpólusú növekedés egypólusúvá, a szimmetrikus osztódás aszimmetrikussá válik, a nem növekedő pólusnál nagyméretű vakuolumok jönnek létre, átszerveződik az aktin és a mikrotubuláris sejtváz, és gátlás alá kerül a szeptumfelhasadás (9). Az élesztőfázisban a sejtek mindkét végükön nőnek, a fonalas fázisban azonban már csak az egyiknél (9). Számos adat utal arra, hogy a kétféle forma közötti váltások szabályozásában fontos szerepe van a sejten belüli cAMP koncentrációjának is. Például ha a szilárd szubsztátumhoz koffeint, illetve cAMP-t adunk, az élesztők nem alakulnak át micéliummá, illetve a micélium visszaalakul élesztősejteké (9).

A S. pombe élesztősejtek poláris növekedése

A *S. pombe* esetében a környezeti tényezők változtatásával nem lehet fonalas növekedést kiváltani (7). Az exponenciális szaporodási fázisban a sejtek elsősorban a régi végükön kezdenek növekedni (régi az a vég, amely már az anyasejtnek is növekedő vége volt). Az új vég (amelyik az anyasejt osztódásakor a szeptumnál jön létre) csak jóval később, a G2 második felében kezd nőni. Az új vég aktivizálódását NETO-nak (*new end take off*) nevezzük (10). Mikroszkópos time-lapse vizsgálatok tanulsága szerint sokkal ritkábban fordul elő, hogy a növekedés az új végen indul el előbb, vagy hogy egyszerre aktivizálódik mindkét sejtvég (11, 12). Érdekes módon a koffein jelenlétében szaporodó sejtek növekedése egypólusúvá válik, nagyrészt a sejteknek csak a régi vége növekszik. Úgy tűnik, hogy a NETO-ra sor sem kerül (13). Az egypólusúvá vált növekedés azonban nem jár fonalak létrejöttével, eltérően a *S. japonicus*tól.

Fonalas növekedésű mutánsok a S. pombénél

A *S. pombe* esetében miceliáris növekedést olyan gének inaktiválásával lehet elérni, amelyek termékei közvetlenül vagy közvetve részt vesznek a szeptumképzést követő sejtseparációban. Az első miceliáris mutáns analízise egy korábban ismeretlen gén, a *sep1⁺* identifikálását tette lehetővé (4). A *sep⁻* sejtekben a szeptumok szabályosan jönnek létre, de elmarad a szeptumok középső rétegének feloldódása, így az utódsejtek nem válnak el egymástól, hanem micéliumszerű sejtláncokat képeznek. A láncok a *S. japonicus* micéliumától eltérően stabilak, a környezeti feltételek változásai esetén sem esnek szét. A *sep1⁺* leírását 15 további *sep* gén identifikálása követte, további *sep⁻* mutánsok elemzésén keresztül (5, 6). Mindegyik mutánsra a fonalas morfológia volt jellemző, de egyiknél sem vált unipolárisá a sejtnövekedés, ami alapvető fontosságú eltérés a *S. japonicus* fonalas stádiumával

összehasonlítva. A fonalakon belül elhelyezkedő sejteknél a poláris növekedés azonban jelentősen módosul, mert a sejtvégeket feloldatlan szeptumanyag fedi. A sejt nem tud apikálisan növekedni, ehelyett a csúcs alatt fog képezni egy oldalirányú ágat. Mivel a sejt mindkét végén igyekszik nőni, a micélium mentén minden sejtnél két oldalág jelenik meg. A *sep⁻* mutánsok micéliumsejtjeiben nem jelennek meg vakuolumok. Az elágazási morfológia eltérősege és a vakuolizáció hiánya egyértelműen jelzi, hogy a *sep⁻* mutánsok és a *S. japonicus* micéliuma nem tekinthetők ekvivalensnek.

*A sep1⁺ gén HNF3 típusú transzkripciósfaktort kódol,
és kölcsönhat számos M-fázis-génnel*

A *sep1⁺* gént klónoztuk, és meghatároztuk a nukleotid-sorrendjét. Az utóbbiból arra lehet következtetni, hogy a géntermék a magasabb rendű eukariótákból ismert, HNF-3/forkhead típusú szövet- és differenciálódásspecifikus regulátorokkal homológ fehérje (14). A feltételezett Sep1p fehérje is rendelkezik a rájuk jellemző konzervatív aminosav-sorrendű DNS-kötő doménnel. A homológia az ember HNF-3 fehérjéjével 56%-os.

A *sep1⁻* mutáció szintetikus fenotípust okoz olyan kettős mutánsokban, amelyek a *wee1⁻*, *cdc2-1w*, *cdc25-22* és *cdc4-8* mutációk valamelyikét is hordozzák (4, 15, 16). Mivel ezek a mutációk a G2-M közötti átmenetnél okoznak zavarokat, a kölcsönhatásokból arra lehet következtetni, hogy a Sep1 protein igazi szerepe nem a sejtszeparáció biztosítása, hanem a mitózis és a szeptumképzés megfelelő összehangolása. Hiánya esetén a szeptum képzése késve indul el, és mire a szeptum elkészül, és megindulhatna a sejtszeparáció is, a sejt már ki is lépett a sejtciklusból. Pontosabban szólva már elkezdte a következő sejtciklus interfázisát. Mivel az interfázis alatt a sejtszétválasztási funkciók gátolva vannak, gátlás alá kerül a még el sem kezdett szeparáció is, és az utódsejtek együtt maradnak. Ha a *wee1⁺* gént inaktiváljuk a *sep1⁻* sejtekben, maga a szeptumképzés is gyakran elmarad, és a sejt két maggal hagyja el a sejtciklust, hogy beléphessen az új sejtciklusba (16). A mutációk közötti genetikai kölcsönhatásokból arra lehet következtetni, hogy a Sep1p fehérje a sejtszétválasztás pozitív, de indirekt hatású regulátora.

A miceliáris mutánsok sejtvázáinak vizsgálatából következtetések vonhatók le a sejt polaritás meghatározásának mechanizmusára

A poláris sejtekben a citoplazma sejtváza poláris felépítésű. A *sep⁻* fonalak elágazó sejtjeinek a tanulmányozásával vizsgálni lehet azt a kérdést, hogy a sejtváza alakítja-e ki a sejt polaritását, vagy a sejt poláris alakja determinálja, hogy poláris sejtváza fog felépülni a citoplazmában. Mivel korreláció figyelhető meg a mikrotubulusok defektusai és a sejthalak deformációi között, korábban feltételezték,

hogy az interfázisos mikrotubulus-hálózat határozza meg a sejt pólusait és a sejt-növekedés helyeit (17). Annak érdekében, hogy a kérdésről többet tudjunk meg, megvizsgáltuk, hogy az elágazó, illetve hajlott *sep*⁻ sejtekben miként jön létre a sejtosztódást követően az új citoplazmás mikrotubulus-rendszer. Azt tapasztaltuk, hogy mindig olyan formát vesz fel, amilyen a sejt alakja, és mindig oda helyezzi a növekedési pólust, ahol a sejttal csúcsot alkot. Az „örökölt” sejthalak meghatározó szerepe még szembetűnőbb a multipolárisan növekedő szincíciumokat képző *sep1⁻ spl1⁻ cdc4-8* hármas mutáns sejteiben (15). A vizsgálatok egy további megfigyelést is lehetővé tettek. Kiderült, hogy ha a sejt csúcsát feloldatlan szeptumanyag fedi, sejt-növekedés nem indulhat el a csúcsnál akkor sem, ha a sejt váz pólusa is a csúcsnál helyezkedik el (16). Ez arra utal, hogy valamilyen kommunikációnak kell léteznie a citoskeleton és a sejttal között, aminek az eredménye szintén beleszól a polaritás meghatározásába. A fentiek alapján úgy tűnik, hogy a sejt polaritásának kialakításában a citoplazmás sejt vázon kívül számos más tényező is részt vesz (15, 16).

A sep2⁺ gén az osztódási sík kijelöléséhez is szükséges

A *sep* gének többségére az a jellemző, hogy a sejtszeparáción kívül más feladatok végrehajtásában is részt vesznek. A *sep2-SA2* mutáns sejtei például gyakran képeznek kettős szeptumokat, amelyek az osztódó anyasejtet két, egy-egy maggal rendelkező utódsejtre és egy mag nélküli minisejtre osztják fel (5). Minél hosszabbak a sejtek a tenyészetben, annál gyakoribb a kettős szeptum képzése. A *sep2⁺* tehát nemcsak a sejtszeparációban, hanem az osztódási sík helyének kiválasztásában is részt vesz. Továbbmenvé: a szeptumszám függése a sejt hosszától azt is jelzi, hogy a *S. pombe* esetében is létezik egy „diffúzibilis poláris” szignál, amely részt vesz az osztódási hely kijelölésében. Feltehetőleg gátló hatású és a sejt közepe felé csökkenő koncentráció-grádiens alakot. Ahol a szintje egy bizonyos érték alá esik, lehetővé válik egy szeptum képzése. A *sep2-SA2* mutáns ennek a szignálnak a képzésében is sérült lehet (5). Megjegyzendő, hogy az ilyen szignál léte kérdőjeleket vet fel Chang és Nurse modelljével (17) kapcsolatban, amely szerint az osztódási sík helyének megválasztásában a premitotikus mag helye a meghatározó. Az általunk feltételezett pólustól függő szignalizációs mechanizmus hasonló ahhoz, ami az emlőssejtekben jelöli ki a kontraktilis gyűrű helyét (18).

A sep6-sep16 génekben sérült mutánsok komplex fenotípusa emlékeztet a szignál-transzdukciós mutánsok fenotípusára

A *sep6-sep16⁻* mutánsok nemcsak a sejtszeparációban sérültek, hanem sterilek is (6). A mutánsok egyike sem képes normális konjugációra, és három gén mutációi esetén a meiózis se megy végbe. A feromonképzés tesztelésére kidolgozott haloteszt segítségével kimutattuk, hogy minden mutáns termel M-faktort. A *sep8⁻*,

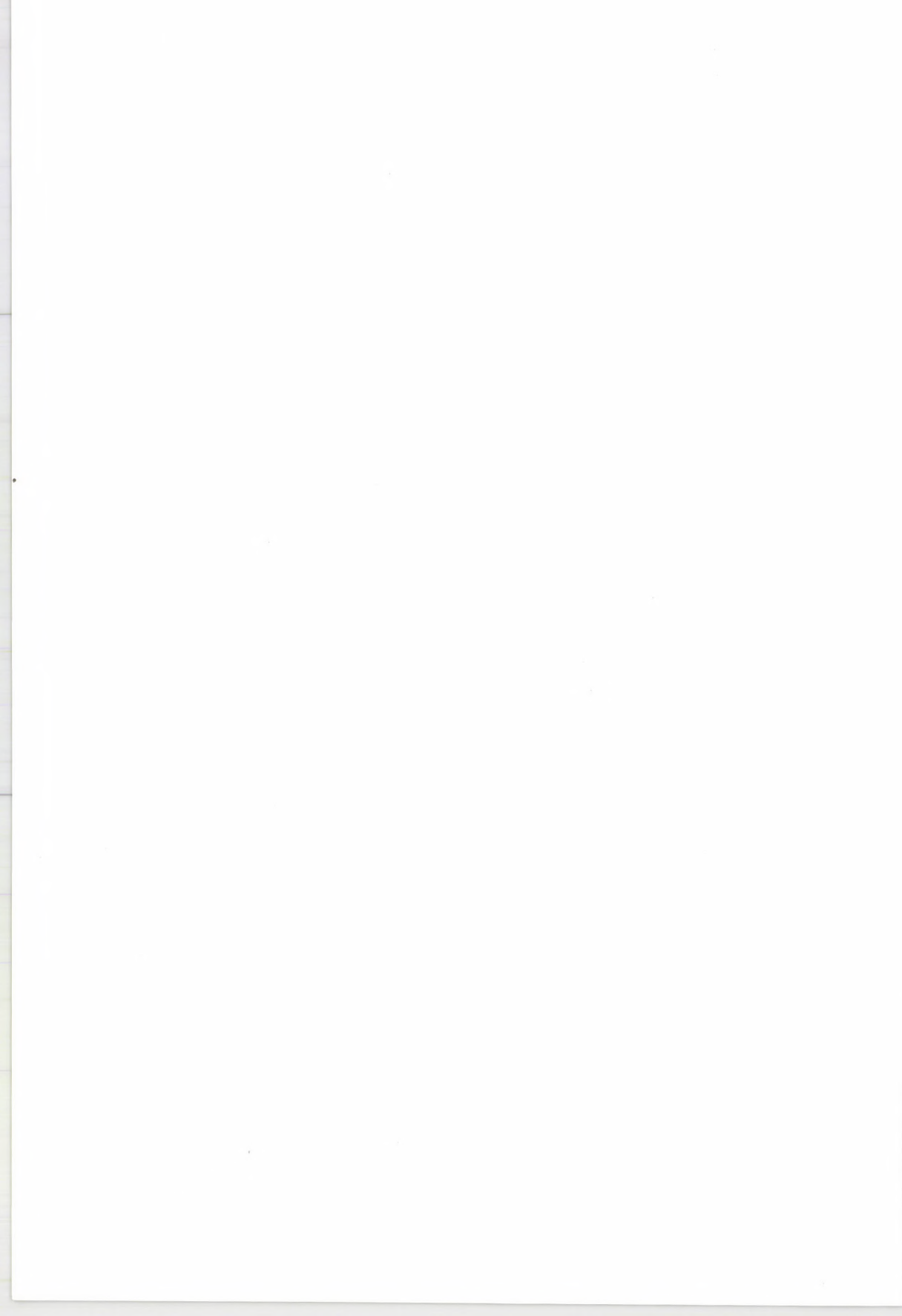
sep11⁻ és *sep15⁻* kivételével a P faktor termelésére is képesek. A *sep8⁺*, *sep11⁺* és *sep16⁺* gének mutációja nemcsak sterilitást okoz, hanem el is nyomja a *pat1-114* mutációval kiváltható haploid meiózist is (6). A Pat1 a meiózis iniciálásának negatív regulátora, inaktiválása a haploid sejtekben is leállítja a vegetatív sejtciklust, és elindítja a meiózist (19).

A sejtszeparációs és a szexuális defektus mellett a *sep6-sep16⁻* mutánsok még szuperszenzitívek is bizonyos sók magasabb koncentrációinak a jelenlétére, valamint a hősokkhatásokra (6). Ez a pleiotróp fenotípus arra enged következtetni, hogy a *sep6-sep16* géncsoport tagjai egymással többszörösen átfedő regulációs modulok hálózatában vesznek részt. Hasonlóan összetett fenotípust mutatnak a MAP-kináz-mediált szignalizációs pályákban sérült mutánsok. A *Saccharomyces cerevisiae* sarjadzó élesztőnél például olyan MAP-kináz-pályák is ismertek, amelyek működése szükséges a pszeudohifás növekedés, a citokinezis, a hyperozmotikus stresszre adott válasz és a sejthalak regulációjához (20). A hasadó élesztőknél ma még keveset tudunk a szignáltranszdukciós mechanizmusokról. Az egyik, egyelőre csak részlegesen feltárt pálya a Spm1/Pmh1-Mkh1 MAP-kináz kaszkád, amely inaktiválása megnöveli az érzékenységet a stresszhatásokra, részleges citokinezis-defektust és csökkent fertilitást okoz, de nem jár miceliáris morfológiával vagy teljes sterilitással (21, 22). A *sep6⁺-sep16⁺* gének ennek a pályának a MAP-kinázok előtti vagy utáni részében játszhatnak szerepet, vagy más hasonló, de eddig még fel nem tárt szignalizációs rendszerhez kapcsolódhatnak. Az eukarióta sejtekben a mitogen-aktivált protein-kinázok és azok upstream regulátorai kapcsolják össze a külvilágból érkező különféle jeleket azokkal a génekkel, amelyek a sejtproliferáció és -differenciálódás eseményeit koordinálják. Feltételezéseinket igazolja, hogy *sep6⁺-sep16⁺* csoport eddig megklónozott öt génje közül kettő olyan fehérjét kódol, amely nagyfokú szekvencia-homológiát mutat más fajok transzkripciós faktoraival. A *sep9⁺* terméke például nagyon hasonló a *Saccharomyces cerevisiae* SPT8 transzkripciós faktorához (még nem közölt eredmény), ami egy TATA-kötő fehérje (23). Az SPT8 inaktiválása is növekedési rendellenességeket, valamint csökkent fertilitást okoz. A többi *sep* gén klónozása és szekvenálása folyamatban van, és nagyrészt az akadémiai kutatócsoport keretében folyik.

Irodalom

- (1) Sipiczki, M.: Phylogenesis of fission yeasts. Contradictions surrounding the origin of a century old genus. *Antonie van Leeuwenhoek*, 68 (1995) 119–149.
- (2) Sipiczki, M.: Phylogenesis and evolution of fission yeasts. 14th International Specialised Symposium on Yeasts. Yeast Taxonomy: Theoretical and Practical Aspects. Smolenice. Czechoslovakia, Program and Abstracts, 1990. 35.
- (3) Sipiczki, M., Takeo, K., Yamaguchi, M., Yoshida, S., Miklos, I.: Environmentally controlled dimorphic cycle in a fission yeast. *Microbiology*, 144 (1998) 1319–1330.
- (4) Sipiczki, M., Grallert, B., Miklos, I.: Mycelial and syncytial growth in *Schizosaccharomyces pombe* by novel septation mutations. *J. Cell. Sci.*, 104 (1993) 485–493.
- (5) Grallert, A., Miklos, I., Sipiczki, M.: Division-site selection, cell separation, and formation of anu-

- cleate minicells in *Schizosaccharomyces pombe* mutants resistant to cell-wall lytic enzymes. *Protoplasma*, 198 (1997) 218–229.
- (6) Grallert, A., Grallert, B., Zilahi, E., Szilagy, Z., Sipiczki, M.: Eleven novel *sep* genes of *Sch. pombe* required for efficient cell separation and sexual differentiation. *Yeast* (in press), 1999.
- (7) Johnson, B. F., Calleja, G.B., Yoo, B. Y., Zuker, M., McDonald, I. J.: Cell division: key to cellular morphogenesis in the fission yeast, *Schizosaccharomyces*. *Int. Rev. Cytol.*, 75 (1982) 167–208.
- (8) Johnson, B. F., Yoo, B.Y., Calleja, G.B.: Cell division in yeasts: movement of organelles associated with cell plate growth of *Schizosaccharomyces pombe*. *J. Bacteriol.*, 115 (1973) 358–366.
- (9) Sipiczki, M., Takeo, K., Grallert, A.: Growth polarity transition in a dimorphic fission yeast. *Microbiology*, 144 (in press).
- (10) Mitchison, J. M., Nurse, P.: Growth in cell length in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *J. Cell Sci.*, 75 (1985) 357–376.
- (11) Miyata, H., Miyata, M., Johnson, B. F.: Patterns of extension growth of the fission yeast, *Schizosaccharomyces pombe*. *Can. J. Microbiol.*, 32 (1986) 528–530.
- (12) Miyata, H., Miyata, M., Johnson, B.F.: Patterns of end growth of the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *Can. J. Microbiol.*, 36 (1990) 390–394.
- (13) Sipiczki, M., Takeo, K.: The effect of caffeine on cell cycle progression and polar growth in *Schizosaccharomyces pombe*. *Biologia, Bratislava* 53 (1998) 291–296.
- (14) Ribar, B., Banrevi, A., Sipiczki, M.: *sep1*⁺ encodes a transcription-factor homologue of the HNF-3/forkhead DNA-binding-domain family in *Schizosaccharomyces pombe*. *Gene*, 202 (1997) 1–5.
- (15) Grallert, A., Sipiczki, M.: Polarity, spatial organisation of cytoskeleton, and nuclear division in morphologically altered cells of *Schizosaccharomyces pombe*. *Can. J. Microbiol.*, 43 (1997) 991–998.
- (16) Grallert, A., Grallert, B., Ribar, B., Sipiczki, M.: Coordination of initiation of nuclear division and initiation of cell division in *Schizosaccharomyces pombe*: Genetic interactions of mutations. *J. Bacteriol.*, 180 (1998) 892–900.
- (17) Chang F., Nurse, P.: How fission yeast fission in the middle. *Cell.*, 84 (1996) 191–194.
- (18) Satterwhite, L. L., Pollard, T. D.: Cytokinesis. *Curr. Opin. Cell. Biol.*, 4 (1992) 43–52.
- (19) Iino, Y., Yamamoto, M.: Mutants of *Schizosaccharomyces pombe* which sporulate in the haploid state. *Mol. Gen. Genet.*, 198 (1985) 416–421.
- (20) Madhani, H. D., Fink, G.R.: The riddle of MAP kinase signalling specificity. *Trends Genet.*, 14 (1998) 151–155.
- (21) Zaitsevskaya-Carter, T., Cooper, J. A.: Spm1, a stress-activated MAP kinase that regulates morphogenesis in *S. pombe*. *EMBO J.*, 16 (1997) 1318–1331.
- (22) Sengar, A. S., Markley, N. A., Marini, N. J., Young, D.: Mkh1, a MEK kinase required for cell wall integrity and proper response to osmotic and temperature stress in *Schizosaccharomyces pombe*. *Mol. Cell. Biol.*, 17 (1997) 3508–3519.
- (23) Eisenmann, D. M., Chapon, C., Roberts, S. M., Dollard, C., Winston, F.: The *Saccharomyces* SPT8 gene encodes a very acidic protein that is functionally related to SPT3 and TATA-binding protein. *Genetics*, 137 (1994) 647–657.



VEREB GYÖRGY, JENEI ATTILA,
DAMJANOVICH SÁNDOR

Sejtfelszíni receptorstruktúrák láthatóvá tétele élő sejteken

A limfociták plazmamembránjában található fontos receptorok többsége nem mozog teljesen szabadon, hanem szupramolekuláris struktúrákat képez. Ez a modell lényeges tulajdonságaiban ellentmondásban van az 1972-ben Singer és Nicolson által felállított ún. fluid mozaikmembrán-moddellel, amely a receptorok és általában a sejteken lévő molekulák gyakorlatilag csak a viszkozitási viszonyok általi korlátozását tételezi fel. Számos kísérleti eredmény támasztja alá azt a felfogást, hogy a molekulák mozgása a sejt különböző kompartmentjeiben bár különböző mértékben, de korlátozott. Ennek a kísérletileg is alaposan alátámasztott felfogásnak egyik következménye, hogy a sejt membránjában sem mozoghatnak pl. az immunrendszer működésében alapvető szerepet játszó receptorok szabadon, hiszen egyrészt a membrán felett, másrészt a membránban és a sejt belsejébe beérő molekuláris részeket keresztül annyi más molekulával lépnek fizikai és kémiai kapcsolatba, ami az elhelyezkedésüket bizonyos, nem is túl rövid időtartományokban erősen korlátozhatja.

E gondolat sor nyomán tételeztük fel a sejtfelszíni receptorok „mintázatainak” létezését, amit számos receptor esetében új, részben általunk kidolgozott módszerekkel igazoltunk. E potenciálisan nagy orvosi és farmakológiai jelentőségű receptormintákkal kívánunk foglalkozni az alábbiakban. A sejtfelszíni receptorok két- és háromdimenziós lokalizációjának felderítése nem egyszerű feladat. Számos indirekt és direkt megközelítés lehetséges, melyek egymást kiegészítve vezethetnek a helyes következtetések levonására. Az eredménnyel kecsegtető módszerek nagy többsége a legmodernebb technikák alkalmazását igényli.

A mikroszkópiák új fejlődési iránya az ezredfordulón:
pásztázó mikroszkópiák

A biológia és orvostudomány fejlődésében a mikroszkópos módszerek hagyományosan igen jelentős szerepet játszottak és játszanak ma is. Jelenleg is a betegségek

nagy részének felismerése és a gyógyeljárás pontos meghatározása a főleg spektroszkópiás laboratóriumi diagnosztikai eljárások mellett gyakran igényli a fény- vagy elektronmikroszkópos vizsgálatot, illetve a diagnózis ilyen szintű alátámasztását. A patológiai vizsgálatok kórszövettani része az, ami már a műtét alatt vagy a gyógyítás során, egyéb laboratóriumi vizsgálatokat sokszor megelőzve, meghatározhatja a diagnózist. A sejt- és molekuláris biológia igen fontos megállapításai, sőt magának a sejtnak mint az élet alapegységének felfedezése is mikroszkópos vizsgálatok eredménye volt. A mikroszkópia, fizikailag mint az optika egyik ága, igen jelentős fejlődésen ment át az elmúlt másfél-két évszázadban.

A molekuláris biológia és a genetika látványos betörése a biológiába és a mindennapi orvostudomány gyakorlatába felkeltette az érdeklődést a molekulák láthatóvá tétele iránt. Azonban még a legmodernebb optikai mikroszkópos módszerek is, mint pl. a pásztázó lézeroptika mikroszkópia, beleütköznek az Ernst Abbe által 1873-ban meghatározott híres elvbe, amely kimondja, hogy az optikai feloldóképesség, azaz hogy mi az a két legközelebbi pont, amit még kettőnek láthatunk a mikroszkópban, függ a megvilágító fény hullámhosszától. Ez a törvény behatárolja a fénymikroszkópok által láthatóvá tehető biológiai struktúrák méretét is.

A múlt század és századunk elejének fizikai felfedezései lehetőséget teremtettek arra, hogy Max Knoll és Ernst Ruska megépíthessék 1931-ben az első elektronmikroszkópot, sőt Knoll már 1935-ben képes volt megalkotni az első pásztázó elektronmikroszkópot. Az elektronmikroszkópia azonban csak megkerüli a látható fényt alkalmazó optikai módszereket, melyeknek feloldóképessége egészen napjainkig komoly korlátok közé szorult. Ennek ráadásul nagy ára van, mert a biológiai anyag az előkészítési eljárások során kikerül a természetes folyadékközegéből. Egy optikai berendezés felbontóképességét a leképezési folyamatoknál mindig jelenlevő elhajlási jelenségeken kívül – mint fentebb említettük – a leképezéshez használt sugárzás hullámhossza is meghatározza. A fénymikroszkóp esetében ez azt jelenti, hogy csak azokat a tárgyrészleteket lehet leképezni, amelyeknek távolsága nagyobb kb. 0,2 mikrométernél, másképpen a tárgy két, ennél a távolságnál kisebb távolságra levő két pontja nem választható szét. A röntgen- vagy gamma-sugarak hullámhossza rövidebb, tehát kedvezőbb leképezési körülményeket kellene nyújtaniuk, de képalkotásra nem vagy csak korlátozottan alkalmazhatók, mivel gyakorlatilag nincs számukra megfelelő tulajdonságokkal rendelkező törőközeg. Az ultraibolya mikroszkóp kétségtelenül javítja a felbontást, de még messze van a molekulák világától. Ilyen szempontból előnyösebbek az elektronsugarak. *Segítségükkel az atomok láthatóvá tétele előtt is megnyílt az út.* Az elektronmikroszkópiás módszerek nagy, elvi hátránya a fénymikroszkópiákkal szemben, hogy a vizsgálat rendszerint olyan preparálási eljárásokat és vizsgálati körülményeket követel meg, amelyek igen távol állnak a vizsgált anyag természetes élettani állapotától. A vizsgálatok vákuumba helyezett és vízmentes, esetleg vezetőanyaggal (pl. igen vékony aranyfüsttel) bevont mintát igényelnek. Ezek a hátrányok halmozottan jelentkeznek biológiai, pl. sejtes rendszerek vizsgálatánál.

Ruska a legnagyobb tudományos elismerést, a Nobel-díjat korszakalkotó munkásságához képest meglehetősen későn, 1986-ban kapta meg. Sokkal később, mint pl. Palade, aki biológiai rendszereken, sejtes struktúrákon végzett elektron-mikroszkópos vizsgálataiért kapta meg e kitüntetést. Az 1980-as évek során való-ságos forradalom volt a mikroszkópos vizsgálatok fejlődésében. Individuális atomok egyértelmű láthatóvá tételéért G. Binnig és H. Rohrer osztozott Ruskával a Nobel-díjon, ami egy jóval későbbi, de valóban forradalmi felfedezés jutalma volt. Módszerük, a pásztázó alagút-effektuson alapuló mikroszkópia (újabban már nem csak) elektromosan vezető felszínek mintázatáról adott atomi felbontá-sú képet (Scanning Tunneling Microscopy, STM). Grafitlemez felszíni szénatom-jai voltak az elsők, amelyeket ilyen módon láthattunk. Ennek egyik feltétele a pásztázás felbontásának a szinte minden határon túli javítása volt. Ez azt jelenti, hogy a pásztázás (lényegében felbontási soronként történő letapogatás) pontos-sága ma elvileg elérheti a hidrogénatom átmérőjének tizedét is. Ez természetesen elvi lehetőség csupán, de még akkor is lenyűgöző.

Az igazi áttörés a főleg, de nem kizárólag felszíni struktúrák természetes kö-rülmények közötti, atomi, sőt szubatomi szintű láthatóvá tételét az atomerő-mik-roszkóp (Atomic Force Microscopy, AFM) feltalálása és szinte azonnali megkonstruálása valósította meg (4, 14, 15, 38, 39, 40, 42). Ettől függetlenül, de ugyanazt a pásztázó technikát felhasználva alakult ki több kutató független erő-feszítése révén a közeli-mező optikai pásztázó mikroszkópia (Nearfield Scanning Optical Microscopy, NSOM), ami már valóban az Abbe-elvet kerülte meg, és tett lehetővé lényegében atomi felbontást fénymikroszkóppal. Az Abbe-elv megkerü-lését zseniálisan oldották meg: lényegében *kihagyták az optikát* és ezzel az optikai törvényekből származó nehézségeket is, amelyek sokáig akadályát képezték egy gyakorlatilag és elméletileg egyaránt korlátlan lehetőséget kínáló mikroszkópia bevezetésének. Az 1980-as években megindult modern mikroszkópos forrada-lom sorozatban hozott létre további mikroszkópiákat (scanning capacitance, scanning thermal, scanning acoustic, scanning X-ray, scanning phase measuring interferometric stb.), amelyek elterjedtsége sokkal korlátozottabb ugyan, mint az atomerő- és a közeli-mező optikai mikroszkópiáké, de mutatja a nagyfokú igényt az ilyen típusú vizsgálati módszerek iránt.

A pásztázáson és a minta, valamint a mérőrendszer közötti valamilyen erő-kölcsönhatáson alapuló módszerek száma jelenleg kb. harmincra tehető, és még nőhet (15). Összefoglaló néven *pásztázó szondás mikroszkópiáknak* is lehet fordítani (Scanning Probe Microscopies) ezek együttesét. Másik lehetséges elnevezésük a pásztázó erő-mikroszkópiák (Scanning Force Microscopies, SFM). A néha ma-gyarra nehezen lefordítható, változatos elnevezésekben a lényeges vonás a pász-tázás felhasználása, valamint az anyag felszíne és valamilyen – a modern elektronika és gyakran csak a lézertechnika felhasználásával követhető – fizikai paraméter közötti kölcsönhatás. Ez jelenti az alapját a leképzésnek, azaz a minta-felszín láthatóvá tételének. Nagyon sokféle lehet ez a detektálható kölcsönhatás: mágneses, elektromos, termikus, „mechanikai” stb. Teljesen természetes, hogy valamennyi felsorolt módszer esetében felvetődik az a probléma, hogy az így

nyert „kép” nem azonos azzal a képpel (bár ahhoz sokszor nagyon közel állhat), amit szemmel „láthatnánk”. Változatlanul érvényes az az elv, hogy az atomi világ és a makroszkopikus világ képszerű megjelenítése nem keverhető össze, hiszen a fizika törvényei ezt nemigen teszik lehetővé. De ez a probléma felemlíthető csaknem valamennyi mai képképző eljárás esetében, amikor pl. ionkoncentrációkülönbségeket színdifferenciákká alakító „image-analizátorok” lassan nemcsak a kutatásnak, hanem a laboratóriumi diagnosztikának is a mindennapos részét képezik.

A sejtfelszíni receptorok preformált és indukált kétdimenziós mintákat alkothatnak

A számos rendelkezésre álló lehetőség közül ebben a viszonylag rövid terjedelemben az optikai spektroszkópiái, elektron- és atomerő-mikroszkópiás módszerekkel meghatározható és az általunk leírt két hierarchikus szinten is jelentkező sejtfelszíni receptormintákra kívánjuk a figyelmet fordítani (2, 8–16, 19–22, 34–37). Az 1972-ben Singer és Nicolson által megalkotott „fluid mozaikmembrán-modell” szerint a sejtek membránjában a kettős lipidrétegbe ágyazott fehérjemolekulák a hőmérsékleti energia hatására tetszőlegesen diffundálnak, azaz mozognak (13, 15, 20–22, 31, 60). Már az egyébként tetszetős – és javításokkal ugyan, de a mai napig elfogadott – modell megalkotásakor voltak olyan jelenségek, amelyeket az nehezen tudott megmagyarázni. A polivalens antitestek képesek voltak a fehérjemolekulákat a sejt egyik pólusára összevonni, mintegy sapkát képezve a sejten, ami nagyon jól látszott, ha az antitesteket pl. fluoreszkáló festékkel megjelölték. Ez a jelenség a „capping”, vagyis sapkaképződés. A meglepő az volt, hogy a capben néha olyan fehérjék is előfordultak, amelyeket nem jelöltek meg. Ezt a jelenséget elnevezték co-cappingnek. A fehérjék mozgásának korlátozott, ill. nem véletlenszerű volta az évek során egyre nyilvánvalóbbá vált, amit részben a citoskeletális elemeknek (aktin és ahhoz hasonló, a sejt vázát képező, esetenként összehúzódásra is képes elemek) tulajdonítottak.

A rendszerint glikoprotein-természetű sejtfelszíni receptorokról néhány receptorfajta vizsgálatára támaszkodva feltételezték, hogy azok akkor egyesülnek egységes, több alegységből álló receptorrá, amely képes a külvilág, a környezet üzeneteit továbbítani a sejt belseje felé, ha a ligandum-, pl. hormon-, neuropeptid- vagy citokinmolekulák jelen vannak (15, 31, 56, 61–63, 65). Amikor a receptor egyik alegysége megkötö a ligandot, az abban bekövetkező konformációs változások hatására összeáll a működőképes receptorstruktúra. Ilyen kölcsönhatás valóban létezik, és a növekedési hormonok (EGF, PDGF) minden bizonnyal így is kötődhetnek (13, 15, 65). Már az 1980-as évek elején felvetődött, hogy a receptorok eloszlását érdemes megvizsgálni, hiszen a diffúzió, a termális energia meghajtotta mozgás gyorsasága nem biztos, hogy elegendő a gyors molekuláris biológiai jelenségek magyarázatára (8).

Felvetődött, hogy az egyes receptorok, amelyeknek az együttműködése feltétele pl. a transzmembrán jelátvitel valamelyik formájának, nem véletlenszerűen helyezkednek el, hanem eleve abban a régióban vannak, ahol a működés miatt lenniük kell. A következő kérdés nyilvánvalóan az, hogy mi tartja ezeket egymás közelében. Számos lehetőség kínálkozik, mind a membrán felett, a sejt belsejében vagy magában a membránban: keresztkötések, molekulák közötti ún. gyenge kölcsönhatások, elektrosztatikus erők vagy a membrán lipidrétegében felfedezett különböző régiók, az ún. domén szerkezet, amely a transzmembrán fehérjék rendszerint α -helikális hidrofób részét rejtje magában. A lipid domének egységes lipidstruktúrát jelentenek, amelyek elkülönülnek más lipidektől, és hasonlíthatók a zsíros húsleves tetején úszó kerek képződményekhez. A fehérje α -helikális szakaszának és a lipid doméneknek az összeszerelődése a fehérjeszintézis pillanatában történik, és így meghatározhatja, hogy melyik fehérje melyik mellett helyezkedik el. Ez magyarázatot adhat másképpen nehezen értelmezhető állandó receptor-együttállásokra, melyek sem a sejt felszíni sűrűségük, sem egyéb ismert módon előforduló kölcsönhatások alapján nem indokolhatók (15, 17, 18, 30, 31, 53), s amelyeknek, mint látni fogjuk, komoly jelentősége lehet egyes betegségekben is (15, 30, 33, 61–63).

A receptor-alegységek együttállásának klinikai jelentősége

A T-sejtes felnőttkori leukémia halálos kimenetelű betegség, amelynek a humán T-leukémia-vírus (HTLV) a feltételezett kórokozója. A betegség egyik fő tünete az *állandóan* aktivált állapotban lévő T-limfoid-sejtek gyors szaporodása, ami a beteget elpusztítja. A T-sejtek különböző behatásokra bekövetkező aktivált állapota a humán immunológia normális jelensége, amely nélkül nincs sem celluláris (CD8+T-sejtek), sem pedig humorális (CD4+T-sejtek) immunitás (41, 61, 63). Az aktiválás folyamatában meghatározó szerepet játszik az interleukin2 (IL2) receptor. Az interleukin2 felfedezése tette lehetővé a T-limfociták tenyésztését, és ma mint az egyik legfontosabb limfociták (a limfociták osztódásának szabályozásában szerepet játszó hormon) tartjuk számon (63).

Az interleukin receptor a sejt plazma membránjában található glikoprotein, amelynek a felépítésében három fehérjeegység vesz részt. A három alegység, az α , β és γ ma már jól azonosított aminosav-sorrendű fehérjék, amelyek specifikus jelölésére számos antitest áll rendelkezésre. Az IL2 megkötése a T-sejt aktivációját okozza, azaz a T-sejtek funkcionálisan működőképes állapotba kerülnek. Az aktiváció kiváltásában mind a három receptor-alegységnek fontos szerepe van. Az α -alegység a legnagyobb sűrűségben előforduló receptor-alkotórész, amelynek a jelenléte nélkül nincs igazán szoros kötődése az IL2-nek. Az α -alegység ugyan elősegíti az aktivációt, de nem elengedhetetlen annak a létrejöttéhez. Az IL2 citokint a β -alegység köti meg, de csak akkor tudja azt megtartani annyira ideig, hogy az aktivációt okozzon, ha a γ -alegység segíti ebben. Ebből következik, hogy ha a β - és a γ -alegység valamilyen sejt fajtában (pl. leukémiás sejtekben) tar-

tósan egymás mellett van, akkor azok a sejtek a kis mennyiségben szinte mindig rendelkezésre álló IL2 hatására állandóan aktivált állapotban vannak, és a sejt „daganatsejtté” válik. A receptorok együttállása, amit kiválthat a ligand jelenléte vagy a genetikai meghatározottság, ami annyit jelent, hogy valamilyen speciális – néhány esetben már azonosított – fehérjemolekula összetartja őket, eldönti, hogy a beteg meghal-e leukémiában. Ha a sejtek állandóan aktivált állapotban vannak, akkor el kell azokat pusztítani, hogy a beteg életben maradjon (61–63).

A modern spektroszkópiai és mikroszkópiás eljárások lehetővé teszik, hogy a betegekből előállított sejtvonalak segítségével a T-limfociták aktiváltsági állapotát megállapítsuk, és a betegek kezelését ennek a mértékéhez igazítsuk.

Receptor-alegységek és különböző receptorok együttes lokalizációjának megállapítása spektroszkópiai, atomerő- és elektronmikroszkópiás módszerekkel

Th. Förster 1948-ban dolgozta ki a fluoreszcencia-energiatranszfer-módszert (FRET), amely alkalmas 2 és 10 nm közötti, tehát molekuláris nagyságrendű méretek és távolságok megállapítására (25). A módszer elve a matematikai és fizikai részletek többségének az elhagyásával röviden a következő. Ha két molekulát vagy molekularészt (fehérjét, antigént stb.) megjelölünk fluoreszkáló festékekkel úgy, hogy az A helyre és a B helyre rögzített két különböző festékmolekula közül az egyik pl. inkább zöld fluoreszcenciát sugároz ki, a másik pedig vöröset, azt tapasztalhatjuk, hogy bár a zöld festéket gerjesztettük a megfelelő (kék) fény-nyalábbal, mely a vörös festéket kevéssé vagy nem gerjeszti, mégis nő az utóbbi fluoreszcenciája, míg a zöldé csökken a vörös távollétében mért értékhez képest. A zöld festék gerjesztési energiája átkerül a vörös festékre, ha az kellően közel van, és még néhány, itt nem tárgyalandó spektroszkópiai feltételt kielégít (5, 7, 64). Ez a módszer lehetővé teszi a különböző jelzett molekulák együttállásának – távolságának – pontos megmérését. A biológiai rendszer természetéből fakadóan a pontos távolsági viszonyok mérése helyett gyakran megelégszünk azzal, hogy megmondjuk, két molekula elegendően közel van-e ahhoz, hogy kölcsönhatás jözhessen létre közöttük. Ha pl. egy daganatsejt membránjában egy receptornak az aktivált állapot létrehozásához szükséges két alegysége egymás mellett van, akkor az aktív állapot fennáll, és a daganatsejt állandóan és gyorsan szaporodik. Ez a viszonylag kényelmes módszer, amit mikroszkópban vagy fluoreszcencia-aktivált sejtanalizátorban (FACS, áramlási citométer) is alkalmazhatunk, lehetővé teszi a receptorok szoros együttállásának vizsgálatát (28, 32, 40–52, 55, 64).

Ma már rendelkezésre állnak olyan módszerek is, amelyek a fluorimetria és az elektronikus mérési lehetőségek felhasználásával egyetlen molekulát is képesek vizsgálni (15, 23, 24, 27, 57, 58). Ezek sokkal nagyobb felszereltséget és speciális feltételeket kívánnak meg, amelyek nehezítik a nyert eredmények széles körű hasznosítását, ill. sejttélettani vagy molekuláris biológiai felhasználhatóságát.

A molekuláris biológia célzott mutációkkal próbál kvantitatív, egyes receptor molekulára visszavezethető immunológiai problémákra választ adni, de ebben az esetben is a végső következtetések elég bizonytalan talajon állnak (59).

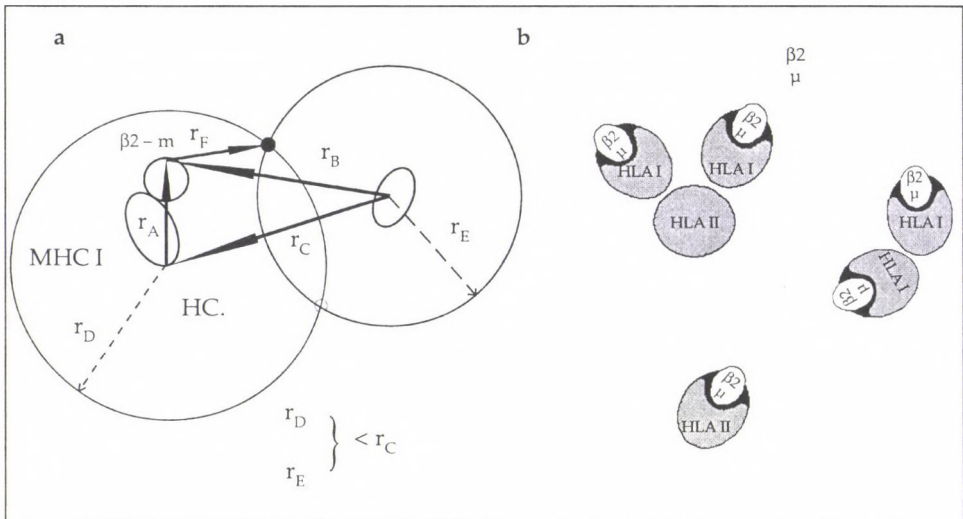
Míg a fluoreszcencia-energiatranszfer egy-egy molekulapár kölcsönhatásáról ad tájékoztatást, a kölcsönhatásban aktuálisan részt vevő molekulák számáról nehéz ennek a módszernek a segítségével nyilatkozni. Az elektronmikroszkópia megfelelő metszeteken vagy a sejt egészének a felületén láthatóvá teszi a receptorok eloszlását egy más, sokkal nagyobb méretű skálán is. A receptorokat ebben az esetben nem fluoreszkáló festék jelzi, hanem az elektronsugarakat visszatartó és különböző nagyságban, de ugyanakkor igen pontos méretben gyártható kolloidális aranygömböcskék, amelyeket, akárcsak a fluoreszkáló festéket, a legkényelmesebben monoklonális antitesttel rögzíthetünk specifikusan a receptorokhoz (14). Ebben a méretben egy más világ tárul fel, mert míg az azonos vagy különböző receptorok kicsiny szigetkái feltérképezhetők fluoreszcencia-energiatranszferrel, itt a kolloidális aranygömbök mérete az energiatranszfer hatékony távolságához hasonló vagy annál is nagyobb (5–30 nm). Ezekkel tehát inkább a receptor szigetkéek szigetcsoportjait láthatjuk az aranygömbök eloszlásán keresztül. Azonban amíg az energiatranszfer-technikát akár élő sejteken, természetes élettani körülmények között is alkalmazhatjuk, az elektronmikroszkópia vákuumban szárított mintákat vizsgál, ami természetesen messze van az élő állapottól.

A felszínnek vizsgálatára kiválóan alkalmas atomerő-mikroszkóp nagyon hegyes (a csúcán akár atomi méretű) tűt pásztáz a felszínen úgy, hogy azt nem hasítja fel, de számos taszító kölcsönhatás miatt követi a felszín domborzati viszonyait. Ezzel az elvileg különböző módszerrel élettani körülmények között, tápfolyadékban vagy pufferben is vizsgálhatjuk a sejteket, azok felszínét. Ha a receptorokat megjelöljük, az atomerő-mikroszkóp is meglátja az aranygömböket, tehát alkalmas az elektronmikroszkóppal nyert eredmények megerősítésére. Kérdés, miért kell két drága módszert alkalmazni egy helyett, ha mind a kettő ugyanazt teszi láthatóvá, csak az egyik élő sejteken is? A válasz egyszerű. Az elektronmikroszkóppal viszonylag gyorsan, nagy felületet lehet átvizsgálni, míg az atomerő-mikroszkóp lassabban és egyszerre csak viszonylag kis felületeket, néhány négyzetmikrométert tesz láthatóvá atomi vagy molekuláris szinten. Keresésre és az aranygömbök statisztikai számolására elektronmikroszkópot gazdaságos használni, míg annak bizonyítására, hogy a kapott receptor-együttesek élettani körülmények között is előfordulnak, az atomerő-mikroszkóp alkalmas (14, 15).

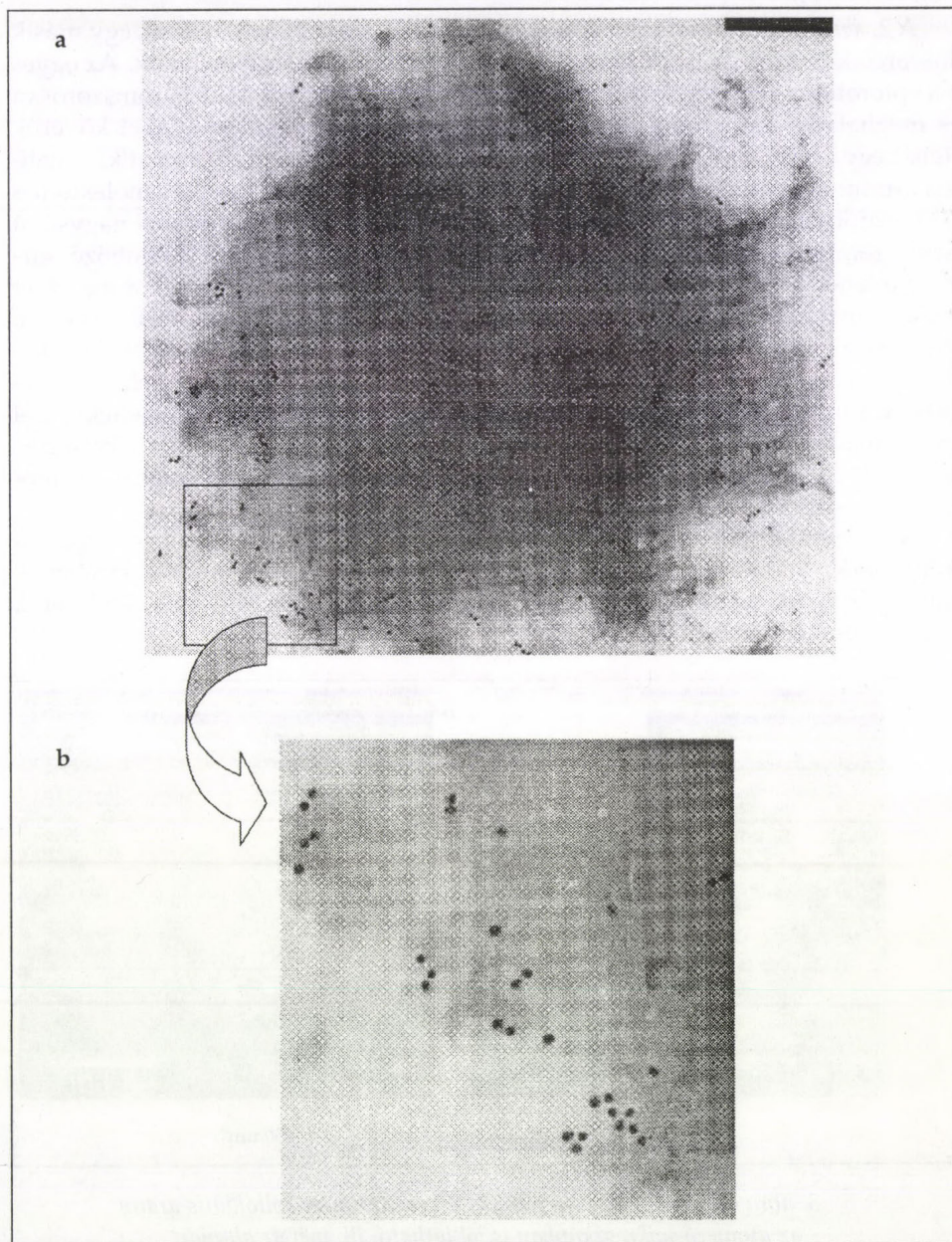
A HLA rendszer I. és II. osztályú antigénjeinek és más receptoroknak az eloszlása a limfoid sejtek felszínén

A fentiekben tárgyalt módszerek gyakorlati alkalmazását néhány olyan receptor-fajtán mutatjuk be, amelyeken először végeztünk ilyen kísérleteket. A fő hisztokompatibilitási komplex (MHC) I. és II. osztályba sorolt molekulái voltaképpen

peptid receptorok, amelyeket a bennünket szüntelenül támadó virális és bakteriális fertőzés elleni védekezés igen lényeges elemeiként ismert meg az immunológia. A humán limfociták felszínén majdnem mindig nagy számban található HLA antigének tartoznak ebbe a kategóriába, míg a gyakori kísérleti állat, az egér limfoid sejtjei a strukturálisan is hasonló H2 antigéneket tartalmazzák (9, 13, 14). Kísérleteinkben a HLA antigéneket monoklonális antitestekkel jelöltük, és a fluoreszcencia-energiatranszfer módszerét receptorpáronként alkalmaztuk. Ezzel sikerült megállapítani, hogy ezek az antigének mind homo-, mind hetero-asszociációt mutatnak, azaz esetenként legalábbis molekula-dimereket képeznek (2, 51, 52). Ha a sejtfelszíni molekulák távolságviszonyait páronként megmérjük, akkor egyszerű háromszögelési módszerrel felrajzolhatjuk a receptormolekulák kétdimenziós térképét. Az 1. ábra az 1994-ben általunk bevezetett kétdimenziós receptortérképezést (a) és az MHC I. és II. molekulák számított elhelyezkedését (b) mutatja (15). Természetesen a receptorok nem mozdulatlanok, de statisztikus átlagban a receptorok egy része igen közel helyezkedik el egymáshoz, és a számítások segítségével készült receptorminták a sejt adott állapotát tükrözhetik. A receptorminták nagyfokú ismételhetősége amellet szól, hogy az állandó endo- és exocitotikus folyamatok ellenére vannak receptor-együttállások, amelyek esetleg éppen a sejtek gyors reagálóképességét tükrözik, amellyel a környezet behatásaira válaszolnak.



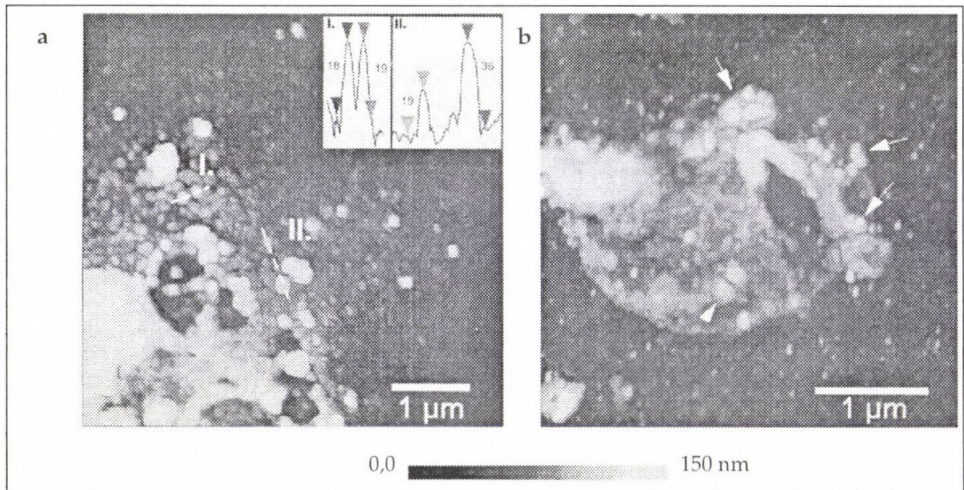
1. ábra. (a) A páronkénti fluoreszcencia-energiatranszfer-mérésekből „háromszögelési” módszerrel számíthatók a nm szintű receptormintázatok. Példaként az MHC I. nehéz- (HC) és könnyűlánc (β2-m), ill. az MHC II. közötti mérések értelmezését mutatjuk. (b) A számítások eredményeként megrajzolható a sejtfelszíni kétdimenziós topológia



2. ábra. (a) A limfoid sejtek felszínén az MHC I. fehérjék nehézláncát specifikus antitesttel, majd második antitesthez konjugált 30 nm-es kolloidális arannyal jelöltük. Az elektronmikroszkópos képen jól láthatók a néhány 100 nm léptékű klaszterek. (b) A jelölt terület háromszoros nagyításban

A 2. ábrán elektronmikroszkópos kép mutatja a receptoreloszlások egy másik hierarchikus szintjét, ahol már a receptorszigetkék csoportjait látjuk. Az egyes receptorokhoz rögzített koloidális aranygömbök nagysága akár háromszorosan is meghaladja azt a távolsághatárt, amelyet energiatranszferrel lehet követni. Tehát egy gömb alatt számos receptor lehet, és a bemutatott, matematikai analízis szerint is nem-véletlenszerű minta már nem a receptorszigetkék molekuláris dimenziója, hanem több száz nm-es léptékkal mérhető. Különböző nagyságú aranygömbök alkalmazása és az egyes receptorok jelölésének különböző sorrendje lehetőséget nyújt arra is, hogy a receptorok asszociációjának a mértékét meghatározzuk, amire a spektroszkópiai módszerek nem adnak biztos választ. A számítás részletezése nélkül közöljük, hogy a HLA I. osztályú antigénjének kb. 25%-a található a II. osztályú HLA szoros közelségében, míg ha ennek az eloszlásnak a fordítottját vizsgáljuk, azt találjuk, hogy a HLA II. antigéneknek közel kétharmada van az I. osztályú mellett. Ez nyilvánvalóan csak akkor lehetséges, ha a HLA I. antigének legalább negyed részét a II. osztályú antigének oligomerizált csoportjai veszik körül.

A 3. ábrán látható atomerő-mikroszkópiás kép azt mutatja, hogy a receptorokat jelölő koloidális arany a sejtek élettani körülményei között is asszociációt mutat. Ez az egyik bizonyíték arra nézve, hogy az asszociációk nem a módszerek kivitelezésének hatására jönnek létre.



3. ábra (a) Az MHC I.-hez kötött 15 és 30 nm-es koloidális arany az atomerő-mikroszkópban is jól látható, ill. mérete alapján (lásd az I. és II. jelű iránytangenseknek megfelelő domborzati profilt) jól elkülöníthető. A magasabb hierarchikus szintű receptoraggregáció itt is, ill. pufferben, közel fiziológiai körülmények között mérve is (b) jól látható, igazolva az elektronmikroszkópos eredményeket

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a fluoreszcencia-energiatranszfer, különösen elektronmikroszkópiával és atomerő-mikroszkópiával összekapcsolva, olyan új adatok megismerésére ad lehetőséget, amelyek nemcsak immunológiai ismereteinket bővíthetik, hanem a diagnosztika, sőt a terápia, a közvetlen beteggyógyítás stratégiája számára is új utakat nyithatnak meg.

Irodalom

1. Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. and Watson, J. D.: *Molecular biology of the cell*. Third Edition. Garland, London, 1994.
2. Bene, L., Balázs, M., Matkó, J., Möst, J., Dierich, M., Szöllősi, J. & Damjanovich, S.: Lateral organization of the ICAM-1 molecule at the surface of human lymphoblasts: a possible model for its co-distribution with the IL-2 receptor, class I and Class II. HLA molecules. *Eur. J. Immunol.*, 24 (1994) 2115–2123.
3. Berridge, M. J.: Inositol trisphosphate and calcium signalling. *Nature*, 361 (1993) 315–325.
4. Binnig, G., Quate, C. F. & Gerber, C.: Atomic force microscope. *Phys. Rev. Lett.*, 56 (1986) 930–933.
5. Cantor, C. & Schimmel, R.: *Biophysical Chemistry. vol. II. Fluorescence spectroscopy*. Freeman, Inc. San Francisco, 1980. 433–465.
6. Cherry, R. J.: Keeping track of cell surface receptors. *Trends in Cell Biology*, 2 (1992) 242–244.
7. Clegg, R. M.: Fluorescence resonance energy transfer (FRET). In: *Fluorescence imaging spectroscopy, and microscopy*. Wiley, J. & Sons, Inc. New York, 1995.
8. Damjanovich, S., Somogyi, B. & Trón, L.: Macromolecular dynamics and information transfer. *Adv. Physiol. Sci.*, 30 (1981) 9–21.
9. Damjanovich, S., Trón, L., Szöllősi, J., Zidovetzki, R., Vaz, W. C. L., Regaterio, F., Arndt-Jovin, D. J. & Jovin, T. M.: Distribution and mobility of murine histocompatibility H2K^k antigens in the cytoplasmic membrane. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 80 (1983) 5985–5989.
10. Damjanovich, S. & Pieri, C.: Electroimmunology: membrane potential, ion-channel activities, and stimulatory signal transduction in human T lymphocytes from young and elderly. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 621 (1991) 29–39.
11. Damjanovich, S., Mátyus, L., Balázs, M., Gáspár, R., Krasznai, Z., Pieri, C., Szöllősi, J. & Trón, L.: Dynamic physical interactions of plasma membrane molecules generate cell surface patterns and regulate cell activation processes. *Immunobiol.*, 85 (1992) 337–349.
12. Damjanovich, S., Szöllősi, J. & Trón, L.: Transmembrane signalling in lymphocytes. *Immunol. Today*, 13 (1992) A12–A15.
13. Damjanovich, S., Edidin, M., Szöllősi, J. & Trón, L.: *Mobility and proximity in biological membranes*. CRC Press. Boca Raton. FL, 1994.
14. Damjanovich, S., Vereb, G., Shaper, A., Jenei, A., Matkó, J., Starink, J. P. P., Fox, G. O., Arndt-Jovin, D. J. & Jovin, T. M.: Structural hierarchy in the clustering of HLA class I molecules in the plasma membrane of human lymphoblastoid cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92 (1995) 1122–1126.
15. Damjanovich, S., Gáspár, R. Jr. & Pieri, C.: Dynamic receptor superstructures at the plasma membrane. *Q. Rev. Biophys.* 30 (1997) 67–106.
16. De la Hera, A., Muller, U., Olsson, C., Isaaz, S. & Tunnacliffe, A.: Structure of the T cell antigen receptor (TCR): Two CD3 epsilon subunits in a functional TCR/CD3 complex. *J. Exp. Med.*, 173 (1991) 7–17.
17. Devaux, P. F.: Static and dynamic lipid asymmetry in cell membranes. *Biochemistry*, 30 (1991) 1163–1173.
18. Devaux, P. F. & Seigneuret, M.: Specificity of lipid protein interactions as determined by spectroscopic techniques. *Biochim. Biophys. Acta*, 822 (1985) 63–125.
19. Dunnant, Y., Garcia-Segura, L. M., Muller, D. and Párducz, A.: Momentary alteration of the post-synaptic membrane during transmission of a single nerve impulse. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86 (1989) 1717–1720.

20. Edidin, M.: Function by association? MHC antigens and membrane receptor complexes. *Immunol. Today*, 9 (1988) 218–219.
21. Edidin, M.: Mobility and proximity in biological membranes. In: *Mobility and proximity in biological membranes*. (Damjanovich, S. et al. ed.) CRC Press. Boca Raton, FL. (1994) 109–135.
22. Edidin, M., Aszalós, A., Damjanovich, S. & Waldmann, T. M.: Lateral diffusion measurements give evidence for association of the Tac peptide of IL-2 receptor with T27 peptide in the plasma membrane of HUT-102-B2 cells. *J. Immunol.*, 141 (1988) 1205–1210.
23. Eigen, M. & Rigler, R.: Sorting single molecules: Application to diagnostics and evolutionary biotechnology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91 (1994) 5740–5747.
24. Finer, J. T., Simmons, M. R. & Spudich J. A.: Single myosin molecule mechanics: Piconewton forces and nanometer steps. *Nature*, 369 (1994) 113–119.
25. Förster, Th.: Zwischenmolekulare energiewanderung und fluoreszenz. *Ann. Phys. (Leipzig)*, 2 (1948) 55–75.
26. Frye, L. D. & Edidin, M.: The rapid intermixing of cell surface antigens after formation of mouse human heterokaryons. *J. Cell Sci.*, 7 (1970) 319–335.
27. Funatsu, T., Harada, Y., Tokunaga, M., Saito, K. & Yanagida, T.: Imaging of single fluorescent molecules and individual ATP turnovers by single myosin molecules in aqueous solution. *Nature*, 374 (1995) 555–559.
28. Gadella, T. W. J., Jovin, T. M. & Clegg, R. M.: Fluorescence lifetime imaging microscopy (FLIM): Spatial resolution of microstructures on the nanosecond time scale. *Biophys. Chem.*, 48 (1993) 221–239.
29. Gáspár, R. Jr., Panyi, Gy., Ypey, D. L., Krasznai, Z., Vereb, Gy., Pieri, C. & Damjanovich, S.: Effects of bretylium tosylate on voltage-gated potassium channels in human T lymphocytes. *Molec. Pharmacol.*, 46 (1994) 762–766.
30. Hartmann, E. T., Rapoport, A. & Lodish, H. F.: Predicting the orientation of eukaryotic membrane spanning proteins. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 86 (1989) 5786–5790.
31. Jacobson, K., Sheets, E. D. & Simson, R.: Revisiting the fluid mosaic model of membranes. *Science*, 268 (1995) 1441–1442.
32. Jovin, T. M. & Arndt-Jovin, D. J.: FRET microscopy: digital imaging of fluorescence resonance energy transfer. Application in cell biology. In: *Cell Structure and Function by Micro-spectrofluorimetry*. Kohen, E., Ploem, J. S. & Hirschberg (eds), Acad. Press, Orlando, FL. (1989) 99–117.
33. Manolios, N., Bonifacio, J. S. and Klausner, R. D.: Transmembrane helical interactions and the assembly of the T cell receptor complex. *Science*, 249 (1990) 274–277.
34. Matkó, J., Szöllősi, J., Trón, L. & Damjanovich, S.: Luminescence spectroscopic approaches of cell surface dynamics. *Quart. Rev. Biophys.*, 21 (1988) 479–544.
35. Matkó, J., Jenei, A., Mátyus, L., Ameloot, M. and Damjanovich, S.: Mapping of cell surface protein patterns by combined fluorescence anisotropy and energy transfer measurements. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 19 (1993) 67–73.
36. Mátyus, L.: Fluorescence resonance energy transfer measurements on cell surfaces. A spectroscopic tool for determining protein interactions. *J. Photochem. Photobiol., B: Biol.*, 12 (1992) 323–337.
37. Mátyus, L., Bene, L., Heiligen, H., Rausch, J., Damjanovich, S.: Distinct association of transferrin receptors with HLA class I molecules on HUT-102B2 and JY cells. *Immunol. Lett.*, 44 (1995) 203–208.
38. Ohnesorge, F. & Binnig, G.: True atomic resolution by atomic force microscopy through repulsive and attractive forces. *Science*, 260 (1993) 1451–1456.
39. Putman, C. A. J.: Van Leeuwen, A. M., de Grooth, B. G., Radosevic, K., van der Werf, K. O., Van Hulst, N. F. & Greve, J.: Atomic force microscopy combined with confocal laser scanning microscopy: a new look at cells. *Bioimaging*, 1 (1993) 63–70.
40. Putman, C. A. J., van der Werf, K. O., de Grooth, B. G., Van Hulst, N. F., Greve, J. & Hansma, P. K.: A new imaging mode in atomic force microscopy based on error signal. *Proc. SPIE*, 1936 (1992) 198–204.
41. Richardson, J. H., Sodroski, J., Waldmann, T. A. & Marasco, W. A.: Phenotypic knockout of the high affinity human interleukin-2 receptor by intracellular single-chain antibodies againsts the α subunit of the receptor. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92 (1995) 3137–3147.
42. Spudich, A. & Braunstein, D.: Large secretory structures at the cell surface imaged with scanning force microscopy. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 92 (1995) 6976–6980.

43. Szabó, G. Jr., Pine, P. S., Weaver, J. L., Rao, P. E. & Aszalós, A.: CD4 changes conformation upon ligand binding. *J. Immunol.*, 149 (1992) 3596–3604.
44. Szabó, Jr. G., Pine, S. P., Weaver, J. L., Kasari, M. & Aszalós, A.: Epitope mapping by photobleaching fluorescence energy transfer measurements using a laser scanning microscope system. *Biophys. J.*, 61 (1992) 661–670.
45. Szabó, G. Jr., Weaver, J. L., Pine, S. P., Rao, P. E. & Aszalós, A.: Cross-linking of CD4 in a TCR/CD3-juxtaposed inhibitory state: a pbFRET study. *Biophys.*, 68 (1995) 1170–1176.
46. Szegedi, Gy., Surányi, P., & Damjanovich, S.: Antigen density of mononuclear cells in SLA. *Immunol. Lett.*, 15 (1987) 234–247.
47. Szöllösi, J., Trón, L., Damjanovich, S., Helliwell, S. H., Arndt-Jovin, D. J. & Jovin, T. M.: Fluorescence energy transfer measurements on cell surfaces: a critical comparison of steady state fluorimetric and flow cytometric methods. *Cytometry*, 5 (1984) 210–216.
48. Szöllösi, J., Mátyus, L., Trón, L., Balázs, M., Ember, I., Fulwyler, M. J. & Damjanovich, S.: Flow cytometric measurements of fluorescence energy transfer using single laser excitation. *Cytometry*, 8 (1987) 120–128.
49. Szöllösi, J., Damjanovich, S., Mulhern, S. A. & Trón, L.: Fluorescence energy transfer and membrane potential measurements monitor dynamic properties of cell membranes: A critical review. *Prog. Biophys. Mol. Biol.*, 49 (1987) 65–87.
50. Szöllösi, J., Damjanovich, S., Goldman, C. K., Fulwyler, M. J., Aszalós, A., Goldstein, G., Rao, P., Talle, M. A. & Waldmann, T. A.: Flow cytometric resonance energy transfer measurements support the association of a 95-kD peptide termed T27 with the 55 kD Tac peptide. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 84 (1987) 7246–7250.
51. Szöllösi, J., Damjanovich, S., Balázs, M., Nagy, P., Trón, L., Fulwyler, M. J. & Brodsky, F. M.: Physical association between MHC class I and class II molecules detected on the cell surface by flow cytometric energy transfer. *J. Immunol.*, 143 (1989) 208–213.
52. Szöllösi, J., Horejsi, V., Angelisova, P., Bene, L. & Damjanovich, S.: Supramolecular complexes of MHC class I, MHC class II, CD20 and tetraspan molecules (CD53, CD81, CD82) at the surface of a B cell line JY. *J. Immunol.*, 157 (1996) 2939–2946.
53. Tocanne, J. F., Dupou-Cezanne, L., Lopez, A. & Tournier, J. F.: Lipid lateral diffusion and membrane organization. *FEBS Lett.*, 257 (1989) 10–16.
54. Tsong, T. Y. and Astumian, R. D.: Electroconformational coupling and membrane protein function. *Progr. Biophys. Mol. Biol.*, 50 (1987) 1–45.
55. Trón, L., Szöllösi, J., Damjanovich, S., Helliwell, S. H., Arndt-Jovin, D. J. & Jovin, T. M.: Flow cytometric measurements of fluorescence resonance energy transfer on cell surfaces. Quantitative evaluation of the transfer efficiency on a cell-by-cell basis. *Biophys. J.*, 45 (1984) 939–946.
56. Trón, L., Szöllösi, J. & Damjanovich, S.: Proximity measurements of cell surface proteins by fluorescence energy transfer. *Immunol. Letters*, 16 (1987) 1–9.
57. Unwin, N.: Acetylcholine receptor channel imaged in the open state. *Nature*, 373 (1995) 37–43.
58. Vale, R. D., Funatsu, T., Pierce, D. W., Romberg, L., Harada, Y. & Yanagida, T.: Direct observation of single kinesin molecules moving along microtubules. *Nature*, 380 (1996) 451–453.
59. Valitutti, S., Muller, S., Cella, M., Padovan, E. & Lanzavecchia, A.: Serial triggering of many T-cell receptors by a few peptide-MHC complexes. *Nature*, 375 (1995) 148–151.
60. Vereb, Gy., Dale, R. E., Mátyus, L., Bene, L., Panyi, Gy., Bacsó, Zs., Balázs, M., Matkó, J., Pieri, C., Ameloot, M., Szöllösi, J., Gáspár, R. Jr. & Damjanovich, S.: Plasma-membrane-bound macromolecules are dynamically aggregated to form non-random co-distribution patterns of selected functional elements. Do pattern recognition processes govern antigen presentation and intercellular interactions? *J. Molec. Recogn.*, 8 (1995) 237–246.
61. Waldmann, T. A.: The structure, function and expression of interleukin-2 receptors on normal and malignant lymphocytes. *Science*, 23 (1986) 727–732.
62. Waldmann, T. A.: The interleukin-2 receptor. *J. Biol. Chem.*, 266 (1991) 2681–2683.
63. Waldmann, T. A.: Immune receptors: targets for therapy of leukemia/lymphoma, autoimmune diseases and for the prevention of allograft rejection. *Ann. Rev. Immunol.* 10 (1992) 675–704.
64. Wu, P. & Brand, L.: Resonance energy transfer: methods and applications. *Anal. Biochem.*, 218 (1994) 1–13.

65. Zidovetzki, R., Yarden, Y., Schlessinger, J. & Jovin, T. M.: Rotational diffusion of epidermal growth factor complexed to cell surface receptors reflects rapid microaggregation and endocytosis of occupied receptors. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 78 (1981) 6981–6985.

SPÄT ANDRÁS

A kálium ion sejtaktiváló hatásának mechanizmusa

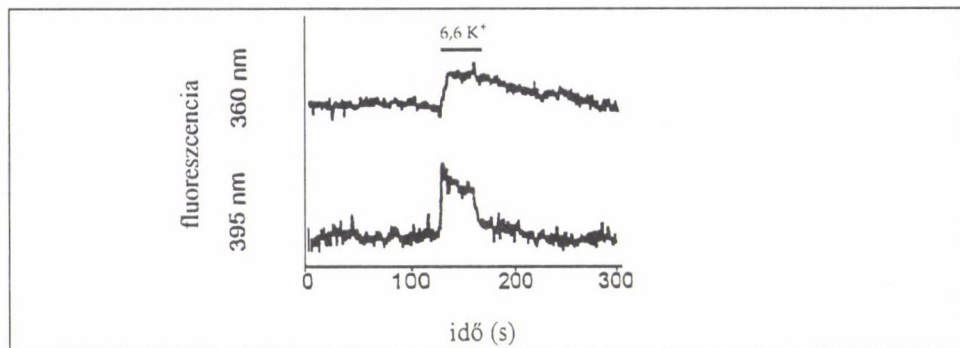
Számos olyan inger, amely a sejthártyára hat, a citoplazma Ca^{2+} koncentráció ($[\text{Ca}^{2+}]$) emelésén keresztül váltja ki a sejt jellegzetes biológiai válaszát: az összehúzódást, a hormonelválasztást, neurotranszmitter leadását stb. A Ca^{2+} két forrásból származhat: felszabadulhat belső raktárból, és beléphet a sejten kívüli folyadékból. A legegyszerűbb olyan inger, amely kizárólag Ca^{2+} belépés útján vált ki Ca^{2+} jelet, az extracelluláris K^+ . Kálium ion hatására a sejt depolarizálódik, ingerlékeny sejt plazma membránjában a depolarizáció hatására feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák aktiválódnak, s bekövetkezik a Ca^{2+} belépés. A mindennapos élet-tani és farmakológiai gyakorlatban a feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák aktiválásának bevált módja az inkubáló folyadék K^+ koncentrációjának többlet mM -al történő emelése. A mellékvesekéregben található glomerulózsa sejt, amely K^+ hatására aldoszteront választ el, fiziológias mértékű $[\text{K}^+]$ emelkedése fokozott aldoszteron elválasztással társul. *In vitro* végzett kísérleteinkben, amikor külső idegi vagy hormonális hatások nem érvényesülhetnek, ha az inkubáló folyadék K^+ koncentrációját a nyugalmi $3,6 \text{ mM}$ -ról $4,6 \text{ mM}$ -ra emeltük (ami még a fiziológias tartományba eső érték), az izolált sejtek citoplazmájában a fluorimetriás módszerrel meghatározott $[\text{Ca}^{2+}]$ és a sejtek aldoszteron termelése szignifikánsan fokozódott (1).

Az, hogy a K^+ aldoszteron termelést serkentő hatásának a Ca^{2+} a sejten belüli közvetítője, több, mint három évtizede ismert (2). Ca^{2+} hatásra, hasonlóan a cAMP hatásához, fokozódik a szteroid bioszintézis előanyagának, a koleszterinnek transzportja a citoplazmából a mitokondrium belső membránjához, ahol is az az oldallánchasisító citokróom P450-hez kötődik. A kalmodulin szerepét e folyamatban munkacsoportunk 1982-ben írta le (3), a StAR nevű szállítófehérjét a közelmúltban ismerték meg (4).

A K^+ , illetve az általa létrehozott Ca^{2+} jel nemcsak koleszterin sejten belüli szállításával, hanem a mitokondrium anyagcseréjének szabályozásával is hozzájárul a szteroid termelés fokozásához. Mintegy két éve ismert, hogy a citoplazma Ca^{2+} jele áttevődhet a mitokondrium matrixra (5). Saját magunk Rohács

Tiborral (6) mikrofluorimetriás módszerrel glomerulóza sejten vizsgáltuk a citoplazma és a mitokondrium Ca^{2+} koncentrációja közötti összefüggést. A rhod-2 nevű Ca^{2+} érzékeny fluoreszcens festéket a mitokondrium felveszi. A sejt permeabilizálása után az extramitokondriális festék kimosható, a bent maradó festék fluoreszcenciája a mitokondriális $[\text{Ca}^{2+}]$ -t méri. Rhod-2-vel végzett kísérleteinkben az inkubáló folyadék $[\text{Ca}^{2+}]$ -ját megemelve, a mitokondrium matrix $[\text{Ca}^{2+}]$ is nőtt és magas maradt, jelezve a két kompartment közötti dinamikus kapcsolatot. Ugyanilyen felállításban, szintén mikrofluorimetriás módszert alkalmazva, kimutattuk, hogy a $[\text{Ca}^{2+}]$ emelésekor a piridin nukleotidok (NAD plusz NADP) redukciója is fokozódik. A fokozott NAD(P)H fluoreszcencia a citrátkör fokozott aktivitását jelzi, amit a piruvát, izocitrát és oxoglutarát dehidrogenáz enzimek Ca^{2+} érzékenysége magyaráz (7).

Mi a helyzet nem permeabilizált, ép sejtben? Wollheim munkacsoportjával (1), majd Rohács Tiborral végzett mikrofluorimetriás kísérleteinkben (6, 8) az extracelluláris $[\text{K}^+]$ emelés hatására a NAD(P)H fluoreszcencia a citoplazma $[\text{Ca}^{2+}]$ -val párhuzamosan emelkedett (1. ábra), s ami talán a legfontosabb, mindkét paraméter jóegynéhány sejtben már 0,5 mM-os K^+ koncentráció emelés hatására fokozódott. Maximumát 8,4 mM K^+ koncentrációnál érte el, ugyanannál a koncentrációnál, ami sejtuszupenzió maximális aldosteron termelés fokozódást idéz elő. Elektronlánc bénítók (amytal, rotenon) alkalmazásával bizonyítottuk, hogy a piridin nukleotidok megfigyelt redukciója a mitokondriumban történik. A citoplazma $[\text{Ca}^{2+}]$ és a mitokondriális NAD(P)H egyidejű mérése azt mutatta, hogy a $[\text{Ca}^{2+}]$ változásai mindig megelőzik a NAD(P)H változásokat, és ha EGTA-



1. ábra. Kálium ion hatása a patkány glomerulóza sejt mitokondriális NAD(P)H szintjére és citoplazma Ca^{2+} koncentrációjára. Az ábra egyetlen, a fura-PE 3 nevű Ca^{2+} érzékeny fluoreszcens festékkel előtöltött sejt mikrofluorimetriás vizsgálatának eredményét mutatja. A kontroll inkubáló folyadék koncentrációja 3,6 mM volt, a 6,6 mM-ra történő emelést a vízszintes vonal jelzi. A 360 nm gerjesztési fénnel előidézett fluoreszcencia (felső görbe) a redukált piridinnukleotidok (NADH+NADPH) szintjét mutatja. A 395 nm gerjesztési fénnel előidézett fluoreszcencia tükröképe (alsó görbe) a Ca^{2+} koncentrációval arányos. (A fénykibocsátást 470 nm-en mértük.)

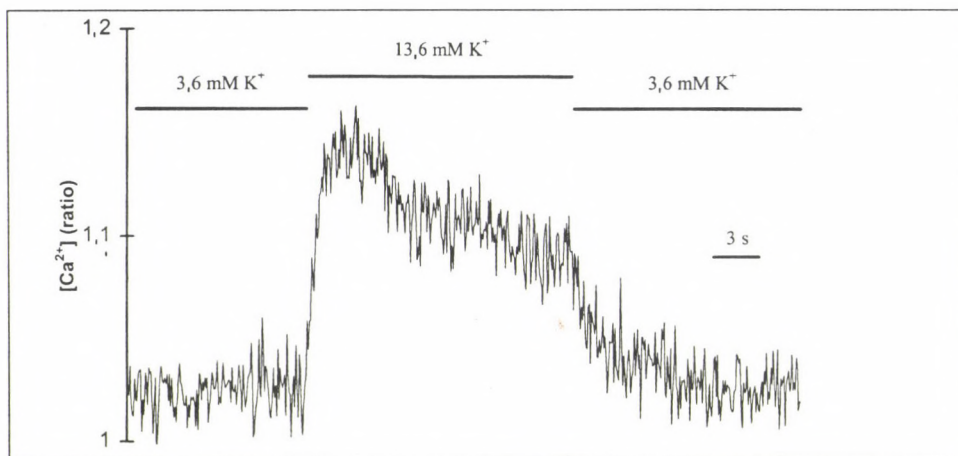
(Rohács Tibor mérése)

val a Ca^{2+} belépést megakadályozzuk, a NAD(P)H válasz is elmarad. Ezeket a vizsgálatokat összefoglalva tehát a K^+ ingerlés hatására fellépő Ca^{2+} jel aktiválja a citrát kört. Ez nemcsak fokozott ATP, hanem fokozott NADPH képződést is jelent. Ez utóbbi a szteroid hidroxilációk kofaktora, s kimutattuk, hogy az ekkor keletkező NADPH valóban felhasználódik a serkentett szteroid termelés során.

Hogyan jön létre a K^+ -mal serkentett glomerulóza sejtben a Ca^{2+} jel? Az általános felfogás szerint a K^+ hatására depolarizált sejtben a feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák aktiválódnak. A nifedipin kísérleteinkben valóban kivédte a K^+ -mal serkentett ^{45}Ca influxot (9), s fluorimetriával is megfigyeltük a nifedipin Ca^{2+} jelet gátló hatását (10). A feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák részvétele a K^+ által indukált Ca^{2+} jelben tehát nyilvánvaló. Várnai Péter mérései szerint az alacsony küszöbű (T-típusú) feszültségfüggő Ca^{2+} csatorna aktiválási küszöbe a patkány glomerulóza sejtben -70 mV körül van (11), vagy ha figyelembe vesszük a soros ellenállásból származó esetleges hibát, akkor ezen értéknél valamivel pozitívabb. Current-clamp méréseink szerint viszont ezekben a sejtekben, a kontroll $3,6$ mM $[\text{K}^+]$ mellett a membrán potenciál átlagban -81 mV. Ebből arra következtethetünk, hogy még az alacsony küszöbű, T-típusú csatornák aktiválásához is a K^+ koncentrációt jóegynéhány mM-lal meg kell emelni. A fél-egy mM $[\text{K}^+]$ emelés hatása tehát aligha magyarázható feszültségfüggő Ca^{2+} csatorna aktiválással.

A fiziológiás mértékű K^+ hatás magyarázatául munkahipotézisként feltételezzük, hogy a K^+ depolarizáló hatásától függetlenül, tehát ligandumként is aktivál olyan csatornát, amely Ca^{2+} -ot enged a sejtbe. E feltételezést támasztják alá azok a mérések, amelyek során a glomerulóza sejt membránpotenciálját -100 mV-on rögzítettük, s az inkubáló folyadék $500 \mu\text{M}$ Ni^{2+} -t és $2 \mu\text{M}$ nifedipint is tartalmazott. Jóllehet a feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák aktiválását hiperpolarizációval és e gátlószerekkel is gátoltuk, a $[\text{K}^+]$ emelése ilyen körülmények között is előidézett Ca^{2+} -jelet (2. ábra), természetesen a gátlás előtti kontrollperiódusban tapasztaltnál kisebbet (12). A K^+ mint ligandum által aktivált, tehát nem feszültség-operált Ca^{2+} áramot glomerulóza sejtben Várnai Péterrel patch-clamp technikával vizsgáltuk, s ennek során megfigyeltünk egy olyan, befelé irányuló, nem inaktíváló áramot (I_{gl}), amelyet a $[\text{K}^+]$ emelése -100 mV-os tartási feszültségen, tehát a feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák zárt állapota mellett is létrehozott. Az áram a $[\text{K}^+]$ fiziológiás emelésére már létrejött. Sem feszültségfüggő Ca^{2+} csatorna, sem hagyományos K^+ csatorna blokkolók (extracelluláris TEA, 4-aminopyridin, apamin, intracelluláris Cs^+) az áramot nem gátolták, viszont a Ca^{2+} csatornákat blokkoló Cd^{2+} az áramot gátolta. Ezen és további paraméterek alapján feltételeztük, hogy az I_{gl} fő töltéshordozója a Ca^{2+} (11), és előkészültünk a felelős csatorna expressziós klónozásához.

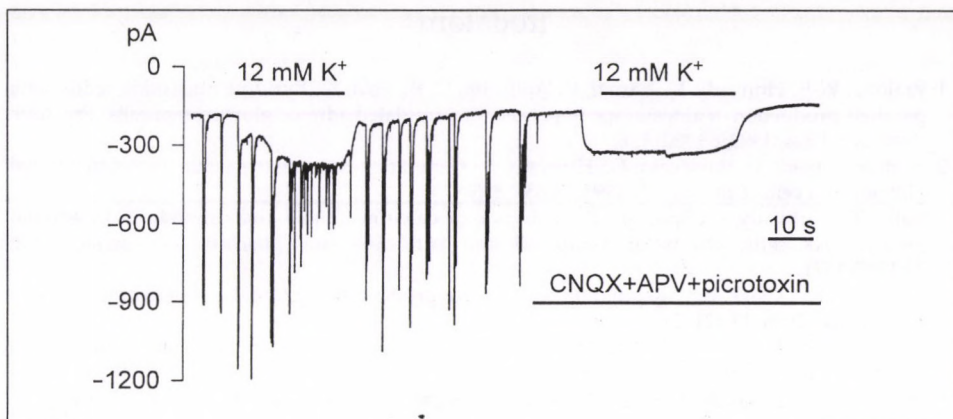
A *Xenopus* l petesejten végzett expressziós vizsgálataink megkezdésekor, a múltév végén leírtak olyan, -100 mV mellett is aktív K^+ áramokat, a TWIK-et (13) és a TASK-ot (14), amelyeket a hagyományos K^+ csatorna blokkolók nem gátolnak, s amelyek több szempontból hasonló tulajdonságúak, mint az I_{gl} . Mielőtt az I_{gl} expressziós klónozását folytatnánk, tisztáznunk kell, hogy valóban az I_{gl} felelős-e a K^+ által nem feszültségfüggő módon kiváltott Ca^{2+} jelért? E vizsgálá-



2. ábra. Kálium ion hatása feszültségstabilizált glomerulózsa sejt citoplazma Ca^{2+} koncentrációjára. Ca^{2+} érzékeny fluoreszcens festékkel (Indo-1) előtöltött sejt membránpotenciálját patch-clamp voltage-clamp módszerrel -100 mV-on rögzítettük. Az inkubáló folyadékhoz a feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák gátlása céljából $500 \mu\text{M}$ Ni^{2+} és $2 \mu\text{M}$ nifedipint adtunk. A 400 és 500 nm kibocsátási hullámhosszon mért fényintenzitások hányadosa (ordináta) a citoplazma $[\text{Ca}^{2+}]$ -ját jelzi. (A gerjesztési hullámhossz 355 nm volt.) (Várnai Péter mérése)

tokat munkacsoportunkban Enyedi Péter, Fischer Tamás és Czirják Gábor elektrofiziológiai és molekulárbiológiai módszerekkel elkezdte, s bár végleges következtetést még nem tudunk levonni, az eddigi eredmények a TASK jelentős expressziójára utalnak.

Még az I_{gl} -vel kapcsolatos értelmezési nehézségek felmerülése előtt számos sejt-félén megvizsgáltunk, hogy -100 mV-os hiperpolarizáció mellett létrehoz-e a K^+ (a befelé rektifikáló K^+ áramtól eltérő, tehát Ba^{2+} inszenzitív) befelé irányuló áramot? Ellentétben specifikus választ nem mutató számos sejt-félével (mellékvese faszikulata sejt, endothelsejt, Langerhans B-sejt és különféle daganatos sejtvonalak), Deák Ferencsel kimutattuk (15), hogy patkányembrióból származó, -100 mV-on stabilizált hippocampus pyramis sejten a K^+ befelé irányuló áramot hoz létre (3. ábra). Az alapvető feladat annak kizárása volt, hogy az áram töltéshordozója maga a K^+ . Neurotranszmitter antagonisták, továbbá számos feszültségfüggő Ca^{2+} és K^+ csatorna bénító jelenlétében a K^+ hatása megmaradt. A befelé rektifikáló K^+ csatorna és az e sejtekben hiperpolarizáció által aktivált kationcsatorna (I_{h}) bénítása után is jelentős áramot kaptunk. Kivédte viszont a K^+ hatását mind az általános Ca^{2+} csatorna blokkoló Cd^{2+} , mind az inkubáló folyadék Ca^{2+} mentesítése. Valószínű tehát, hogy ennek az áramnak jelentős részét Ca^{2+} hozza létre. A félmaximális hatás eléréséhez kb. 20 mM K^+ volt szükség. Ilyen $[\text{K}^+]$ epileptiform idegaktivitás során gyakran fellép. Jelentős áram lép fel azonban már 7 mM K^+ jelenlétében is, ez aktív idegi területeken fiziológiásan előforduló koncentráció.



3. ábra. Kálium ion hatására fellépő befelé folyó áram a patkány hippocampus piramis alakú idegsejtjeben. A voltage-clamp konfigurációban végzett patch-clamp mérés patkanyembriobol származó, szövettenyészetben tartott idegsejten történt.

A membránpotenciált -100 mV-on stabilizáltuk. Ha az inkubáló folyadék $[K^+]$ -ját 2 mM-rol 12 mM-ra növeltük (vízszintes vonal), befelé folyó (az ábrán negatív előjelű) áram lépett fel. A befelé folyó áram kation belépést vagy anion kilépést jelent.

A tuskeszeruen megjeleno posztzinaptikus potenciálokat a szomszédos idegsejtekből felszabaduló neurotranszmitterek hozták létre, kialakulásukat az AMPA és NMDA típusú glutamát receptorok gatloszureinek (CNQX, ill. APV), valamint a $GABA_A$ receptorok gatloszureinek (picROTOXIN) együttes hozzáadásával lehetett kivédeni.

(Deák Ferenc és Nagy Gábor mérése)

Ha a megfigyelt áram valóban Ca^{2+} áram, az azt jelenti, hogy a primer aktivitás közelében lévő piramis sejtekben már akkor is belép Ca^{2+} , amikor a feszültségfüggő Ca^{2+} csatornák még nem aktiválódtak. Egy ilyen folyamat az idegmukodest alapvetően befolyásolhatja. A megfigyelés specificitasara utal, hogy a K^+ hasonló hatást sem bipoláris idegsejten, sem gliasejten nem idézett elő.

Az elmúlt években végzett ez irányú vizsgálataink eredményeit összefoglalva kimutattuk, hogy 1) a K^+ hatására fellépő Ca^{2+} jel atevodik a mitokondriumra, és ott serkenti a piridinnukleotidok redukcióját eredményező oxidációs folyamatokat; 2) a K^+ egyes sejtfeleken (glomerulóza sejt, hippocampus piramis sejt) nemcsak depolarizáló hatása révén, hanem ligandumként is előidéz Ca^{2+} belépést.

Köszönetnyilvánítás

A kísérletek kivitelezésében a szövegben felsorolt kutatókon kívül Kovács Erika, Szatmarine Rajki Anikó és Veres Irén aszisztensnok és számos tudományos diákkörös hallgató vett részt.

Irodalom

1. Pralong, W-F, Hunyady, L., Várnai, P., Wollheim, C. B., Spät, A.: Pyridine nucleotide redox state parallels production of aldosterone in potassium-stimulated adrenal glomerulosa cells. *Pro. Natl. Acad. Sci., USA*, 1992; 89:132–136.
2. Spät, A., Enyedi, P., Hajnóczky, G., Hunyady, L.: Generation and role of calcium signal in adrenal glomerulosa cells. *Exp. Physiol.*, 1991; 76:859–885.
3. Balla, T., Hunyady, L., Spät, A.: Possible role of calcium uptake and calmodulin in adrenal glomerulosa cells: effects of verapamil and trifluoperazine. *Biochem. Pharmacol.*, 1982; 31:1267–1271.
4. Stocco, D. M., Clark, B. J.: Regulation of the acute production of steroids in steroidogenic cells. *Endocr. Rev.*, 1996; 17:221–244.
5. Lawrie, A. M., Rizzuto, R., Pozzan, T., Simpson A. W. M.: A role for calcium influx in the regulation of mitochondrial calcium in endothelial cells. *J. Biol. Chem.*, 1996; 271:10753–10759.
6. Rohács, T., Nagy, G., Spät, A.: Cytoplasmic Ca^{2+} signalling and reduction of mitochondrial pyridine nucleotides in adrenal glomerulosa cells in response to K^+ , angiotensin II and vasopressin. *Biochem. J.*, 322, 785–792, 1997.
7. McCormack, J. G., Halestrap, A., P., Denton, R. M.: Role of calcium ions in regulation of mammalian intramitochondrial metabolism. *Physiol. Rev.*, 1990; 70:391–425.
8. Rohács, T., Tory, K., Dobos, A., Spät, A.: Intracellular calcium release is more efficient than calcium influx in stimulating mitochondrial NAD(P)H formation in adrenal glomerulosa cells. *Biochemical Journal*, 328, 525–528, 1997.
9. Spät, A., Balla, I., Balla, T., Cragoe. E. J., Jr., Hajnóczky, G., Hunyady, L.: Angiotensin II and potassium activate different calcium entry mechanisms in rat adrenal glomerulosa cells. *J. Endocrinol.*, 1989; 122:361–370.
10. Balla, T., Várnai, P., Holló, Z., Spät, A.: Effects of high potassium concentration and dihydropyridine Ca^{2+} -channel agonists on cytoplasmic Ca^{2+} and aldosterone production in rat adrenal glomerulosa cells. *Endocrinology*, 1990; 127:815–822.
11. Várnai, P., Osipenko, O. N., Vizi, E. S., Spät, A.: Activation of calcium current in voltage-clamped rat glomerulosa cells by potassium ions. *J. Physiol.*, (London) 1995; 483:67–78.
12. Várnai, P., Petheő, G. L., Makara, J. K., Spät, A.: Electrophysiological study on the high K^+ sensitivity of rat glomerulosa cells. *Pflügers Arch.*, 435, 429–431, 1998.
13. Lesage, F., Guillemare, E., Fink, M., Duprat, F., Lazdunski, M., Romey, G., Barhanin, J.: TWIK-1, a ubiquitous human weakly inward rectifying K^+ channel with a novel structure. *EMBO J.*, 1996; 15:1004–1011.
14. Leonoudakis, D., Gray, A. T., Winegar, B. D., Kindler, C. H., Harada, M., Taylor, D. M., Chavez, R. A., Forsayeth, J. R., Yost, C. S.: An open rectifier potassium channel with two pore domains in tandem cloned from rat cerebellum. *J. Neurosci.*, 1998; 18:868–877.
15. Deák, F., Nagy, G., Várnai, P., Madarász, E., Spät, A.: Calcium current activated by potassium ions in voltage-clamped rat hippocampal pyramidal neurons. *J. Physiol.*, (London) 508, 735–745, 1998.

ÁDÁM VERONIKA, TRETTER LÁSZLÓ,
CHRISTOS CHINOPOULOS

A központi idegrendszeri neuronok funkciózavarai oxidatív stresszben

A központi idegrendszer sejtpusztulással járó betegségei a civilizált világban jelentős halálóki tényezők. A sejtpusztulásban az oxidatív stressz gyakran kóroki vagy az állapotot súlyosbító tényezőként játszik szerepet. Oxidatív stressznek az oxigénből keletkező, úgynevezett reaktív oxigén-intermedierek okozta károsodást nevezzük. A reaktív oxigénszármazékok nagy része oxigén-szabadgyök, azaz olyan molekula, amely párosítatlan spinű elektronnal rendelkezik, ezért reakciókészsége igen nagy.

Az oxidatív stressz szerepe a központi idegrendszeri kórképekben

Az oxidatív stressz pathogenetikai szerepét több neurodegeneratív betegségben is feltételezik. A legismertebb és a legtöbbet vizsgált közülük a Parkinson-kór, amely az időskor krónikus, progrediáló betegsége. Patológiailag a betegséget a szubsztancia nigra dopaminerg neuronjainak pusztulása kíséri. A dopaminerg neuronok különösen fogékonyak oxidatív stresszre, aminek az lehet az oka, hogy 1) a szabad gyökök elleni védekezést szolgáló glutathion peroxidáz-reduktáz rendszer aktivitása csökken, 2) a lipid hidroperoxidok koncentrációja megnő, és 3) a szubsztancia nigra vastartalma magas, ami elősegíti a hidroxil-szabadgyök képződését. Az, hogy az oxidatív stressz vajon oka-e vagy következménye a Parkinson-kórnak, még nem teljesen eldöntött kérdés, de abban egyetértés van, hogy az idegsejtek pusztulásában a reaktív oxigén-intermedierek által létrehozott reakciók szerepet játszanak (1).

Az amiotrófiás laterál szklerózis (ALS) a középkorúak betegsége, amit a kortikális és spinális motoneuronok progresszív és szelektív degenerációja jellemez. Az ALS-t kísérő biokémiai változások közül kiemelkedő az idegvégződés csökkent glutamát-felvevő képessége, valamint az ALS öröklődő formájában kimutatták a réz-cink szuperoxid-dizmutáz hiányát. A szuperoxid-dizmutáz hiánya nem

jellemző az ALS sporadikus formáira, de ezekben az esetekben a csökkent glutamáttranszport miatti nagyobb extracelluláris glutamátkoncentráció okozója lehet az oxidatív stressznek.

A Huntington-betegség a középkorúak autoszomális domináns megbetegedése, ami a mozgás-koordináció zavarával, pszichiátriai tünetekkel és progresszív demenciával jellemezhető. Annak demonstrálása, hogy kainát intrastriatális injekciójával Huntington-szerű neuropathológiai tüneteket lehet kiváltani, az excitatorikus aminosavak és az oxidatív stressz szerepére utal. A mitokondriális légzési lánc I-es és II-es komplexének gátlása szelektív striatális degenerációt okoz (2).

Az oxidatív stressznek jelentős szerepet tulajdonítanak az iszkémia-reperfúzió által okozott agykárosodásban. Az agyi iszkémiában egy adott agyterület véráramlása jelentősen csökkenhet. A reperfúzió során bekövetkező reoxigenáció oxigént szolgáltat nemcsak a neuronok életműködésének fenntartására, hanem számos olyan enzimatis reakcióhoz is, amely reaktív oxigén szabadgyököket termel. Ismert, hogy a mitokondriumok oxigénfogyasztásának 2–5%-a fiziológiásan is szabad gyökök, főként szuperoxid-anion képződésére fordítódik. Ezeket a szabad gyököket részben antioxidáns enzimek, a szuperoxid-dizmutáz, glutathion-peroxidáz és reduktáz, valamint a kataláz eliminálják. Egyéb antioxidánsok – a glutathion, az E-vitamin és az aszkorbinsav – is szerepet játszanak az oxidatív stressz elleni védelemben. A reperfúzió során az antioxidáns-védelem elégtelensége az oxigén szabadgyökök túltermelésének, a detoxikáló mechanizmusok inaktivációjának és a csökkent véráramlás miatti elégtelen antioxidáns-pótlásnak a következménye (3, 4).

A hidrogén-peroxid mint oxidatív stresszmodell

Hidrogén-peroxid a központi idegrendszerben fiziológiás körülmények között is keletkezik a monoamin-oxidáz működése során, illetve a szuperoxid-dizmutáz működése következtében. A hidrogén-peroxid definíciószerűen nem oxigén szabadgyök, mégis az úgynevezett reaktív oxigénszármazékok közé sorolják, mert a Haber–Weiss- és a Fenton-reakciók során belőle hidroxilgyök keletkezhet. Kísérleteinkben a hidrogén-peroxidot használtuk az oxidatív stressz modellezésére olyan koncentrációkban, amelyek az *in vivo* végzett mikrodialízis-kísérletek szerint a hipoxiás agyszövetben előfordulnak (0,1–0,5 mM) (5, 6). A kísérleteket tengerimalac-agykéregből izolált idegvégződéseken végeztük. Ez a preparátum a preszinaptikus történések tanulmányozására alkalmas, amelyben az energiatermelés glikolitikus úton és a mitokondriumokban zajló oxidatív foszforiláció révén történik, megtartott az intracelluláris Na^+ - és Ca^{2+} -koncentráció, és szabályozott a neurotranszmitterek felvétele és felszabadulása (7). Kísérleteinkben az alábbi kérdésekre kerestünk választ: melyek a reaktív oxigénszármazékok által okozott legkorábbi funkcióváltozások, melyek a patomechanizmusban a legfontosabb tényezők, milyen mértékben reverzibilis a reaktív oxigénszármazékok okozta funkciókárosodás?

Korai ionkoncentráció-változások az idegvégződéseken hidrogén-peroxid hatására

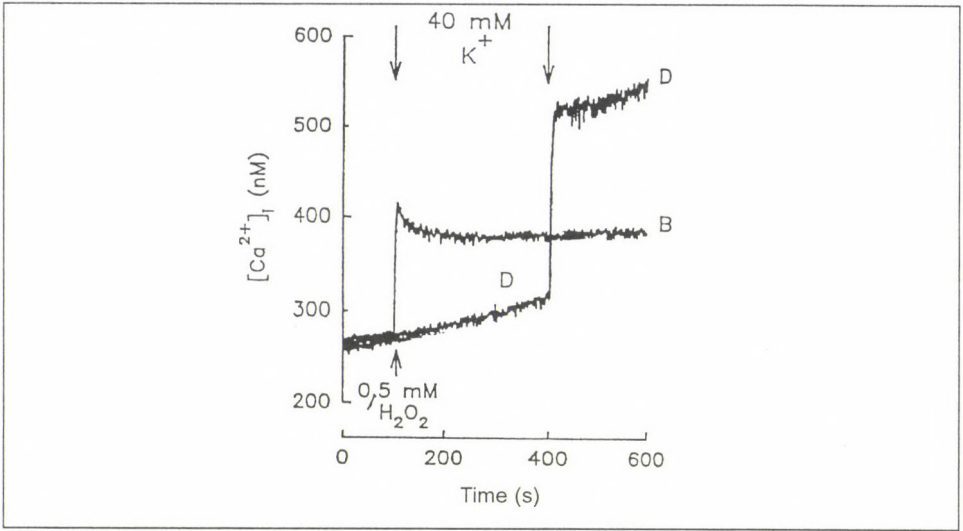
A hidrogén-peroxid hatását vizsgáltuk a szinaptoszóma plazmamembrán-potenciáljára. A fluoreszcens festékkel [(DiS-C₂(3)] mért nyugalmi potenciál -70 mV, ami hidrogén-peroxid hatására lassú, kismértékű, de állandó depolarizációt mutatott. Az első 15 percben a potenciálváltozást $17-20$ mV-nak mértük. Az idegrendszerben a membránpotenciál kialakításában a Na⁺-nak meghatározó szerepe van, ezért az esetleges intracelluláris [Na⁺] változás mérése fontos lehet a membránpotenciál-csökkenés mechanizmusának megértése szempontjából. Kísérleteinkben a nyugalmi intracelluláris [Na⁺] 13 mM volt. Hidrogén-peroxid hozzáadására a [Na⁺] azonnali emelkedését észleltük, amely emelkedés nem mutatott plateau-fázist. A [Na⁺] emelkedése nem volt gátolható a feszültségfüggő Na⁺-csatornák szelektív gátlószerével.

Az intracelluláris [Ca²⁺], hasonlóképpen a [Na⁺]-hoz, azonnali, fokozatos, de kismértékű emelkedést mutatott a hidrogén-peroxid hozzáadására. A görbe lefutása nem hasonlított a depolarizáció, azaz a feszültségfüggő Ca²⁺-csatornák nyitásakor látható Ca²⁺-koncentrációváltozások görbéjére, nem volt összefüggésben a Na⁺/Ca²⁺-csere aktiválódásával, és nem az intracelluláris raktárakból történő Ca²⁺-mobilizálás következményeként jött létre. A kísérletek a Ca²⁺-emelkedés extracelluláris eredetét igazolták (8). A korai ioneltérések legvalószínűbb oka a Na⁺/K⁺ ATP-áz és a Ca²⁺ATP-áz aktivitásának csökkenése az enzimek kritikus SH-csoportjainak oxidációja következtében. A Ca²⁺-ATP-áz aktivitásának csökkenése okozza a depolarizációt követő [Ca²⁺]-szignál megnövekedését is: peroxidatív stimulust követően a K⁺-depolarizáció hatására létrejövő [Ca²⁺]-szignál ún. csúcs-amplitúdója megnő, és a normális körülmények között a csúcsot követő, a Ca²⁺-szekvesztrálódást jellemző, ún. plateau-fázis elmarad, és a [Ca²⁺] emelkedése folytatódik (9). Az oxidatív stressz korai szakaszában tehát jelentős változás történik a Ca²⁺-homeosztázisban: kismértékben emelkedik a nyugalmi Ca²⁺-koncentráció, és nagymértékben fokozódik a depolarizációval kiváltható intracelluláris Ca²⁺-koncentrációemelkedés (1. ábra).

Az ATP-koncentráció csökkenése és a mitokondriális membránpotenciál változása oxidatív stresszben

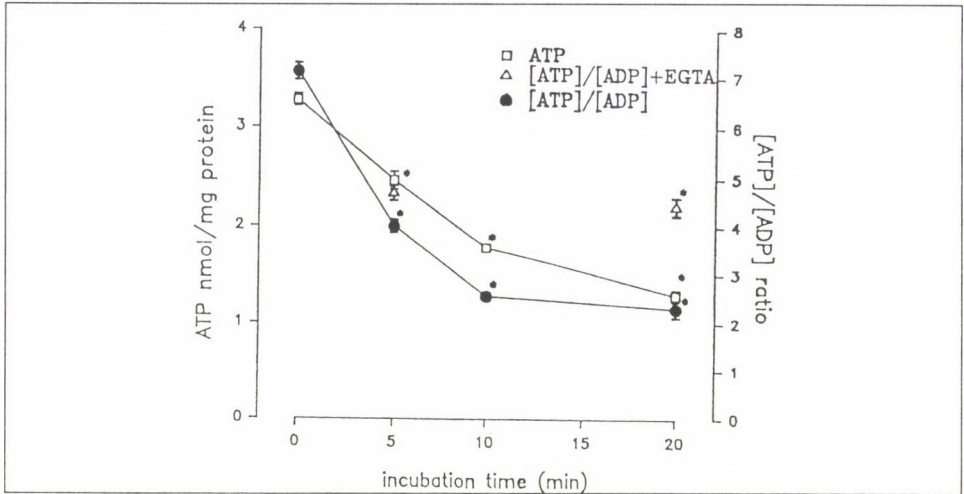
Az oxidatív stressz korai szakaszában az ATP-szint csökkenése észlelhető, amely koncentrációfüggő, és néhány percen belül kialakul (2. ábra).

Az ATP-koncentráció csökkenése a szinaptoszómákban több ok következtében jöhet létre, illetve az ATP-koncentráció csökkenése révén több szinaptoszomális funkció is károsodhat. Vizsgálataink alapján azt mondhatjuk, hogy az ATP-koncentráció csökkenése hidrogén-peroxid hatására korai stádiumban nem befolyásolja lényegesen az ionhomeosztázist fenntartó mechanizmusokat, mivel a Na⁺/K⁺ATP-áz és a Ca²⁺ATP-áz K_m-je jóval alacsonyabb, mint a hidrogén-peroxid jelenlétében mért,

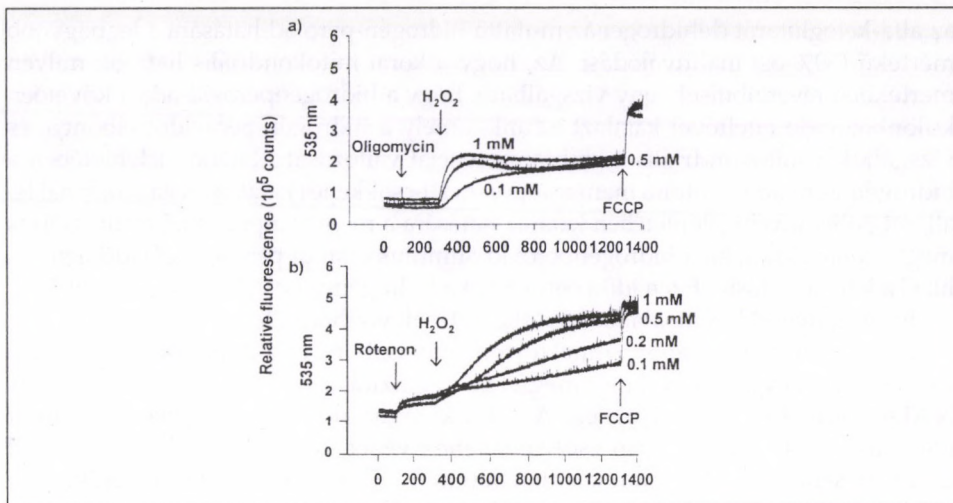


1. ábra. Intracelluláris Ca^{2+} -koncentrációváltozás idegvégződéseken K^+ -depolarizáció hatására oxidatív stressz nélkül (B) és hidrogénperoxid-adást követően (D)

csökkent ATP-koncentráció (9). A szinaptoszómák esetében is a mitokondriális ATP-termelés jelenti az energiatermelés fő útját, ami a protongradiens felhasználásával történik. Az oxidatív stresszben a mitokondriumok nemcsak a szabad gyökök keletkezésének igen fontos helyei, hanem a reaktív oxigénszármazékok hatásának kiemelt célpontjai is. A mitokondrium-funkciók közül a membránpotenciál



2. ábra. Az ATP-szint csökkenése idegvégződéseken hidrogén-peroxid (0,5 mM) által okozott oxidatív stressz hatására



3. ábra. Hidrogén-peroxid (0,1–1 mM) hatására létrejövő mitokondriális membránpotenciál-csökkenés (JC-1 relatív fluoreszcencia) oligomycin- (a) és rotenon- (b) adást követően. A kísérlet végén adott szétkapcsoló, FCCP hatása jelzi a mitokondrium-membránpotenciál teljes megszűnését

fenntartása kiemelten fontos, hiszen a membránpotenciál legnagyobb részéért felelős protongradiens az ATP-termelés előfeltétele, valamint a mitokondrium belső membránján keresztül történő transzportfolyamatok közül a Ca^{2+} -felvétel is a membránpotenciálból származó energia terhére történik. A mitokondrium membránpotenciál-csökkenése pedig a programozott sejthalál, az apoptózis beindulásának egyik korai szignálja lehet. Hidrogén-peroxiddal apoptózis váltható ki. Vizsgáltuk tehát a mitokondriális membránpotenciál hidrogén-peroxidra bekövetkező változásait JC-1 fluoreszcens festékkel, amely szelektíven képes jelezni a mitokondriális membránpotenciálban bekövetkező változásokat anélkül, hogy a plazmamembrán potenciálváltozásai befolyásolnák a festék fluoreszcenciáját (10). Oxidatív stresszben 0,1–1 mM hidrogén-peroxid hatására a mitokondriális membránpotenciálban csak kismértékű változás észlelhető. Ha a légzési lánc I-es komplexét rotenonnal gátoljuk, ez a membránpotenciált alig befolyásolja. Ezzel szemben ha a rotenont és a hidrogén-peroxidot együtt alkalmazzuk, a membránpotenciál 10-15 percen belül szinte a 0-ra csökken (3. ábra). Rotenon és hidrogén-peroxid együttes adásakor az ATP-koncentráció és az [ATP/ADP] arány is jelentősen csökken. Oligomycin, az F_1/F_0 ATP-áz szelektív gátlószere, rendszerünkben a mitokondriális membránpotenciált nem befolyásolta, de ha az oligomycin-kezelést hidrogén-peroxid adása követte, a membránpotenciál jelentősen csökken (3. ábra). Hidrogén-peroxid adása után a szinaptoszómák steady state NAD(P)H-szintjét mérve a NAD(P)H-koncentráció jelentős csökkenése figyelhető meg, melynek egyik lehetséges magyarázata, hogy a citrátkör NADH-t termelő dehidrogenázai közül valamely(ek) az oxidatív stresszben sérül(nek). Az általunk vizsgált citrátköri enzimek közül

az alfa-ketoglutarát dehidrogenáz mutatta hidrogén-peroxid hatására a legnagyobb mértékű (50%-os) inaktíválódást. Az, hogy a korai mitokondriális hatások milyen mértékben reverzibilisek, úgy vizsgálható, hogy a hidrogénperoxid-adást követően különböző idő elteltével katalázt adunk, amely a hidrogén-peroxidot elbontja, és vizsgáljuk a mitokondriális membránpotenciál változását. Rotenon jelenlétében a hidrogén-peroxid kiváltotta membránpotenciál-csökkenés kataláz adásra azonnal leáll, míg oligomycin jelenlétében kataláz hatására a membránpotenciál restitúciója is megtörténik akkor, ha a hidrogénperoxid-stimulus után öt percnél több idő nem telik el a kataláz adásig. Ezen időn belül tehát a hidrogén-peroxid hatása reverzibilis.

Eredményeinkből az alábbi következtetések vonhatók le:

Az F_1/F_0 ATP-áz oligomycinnel történő gátlásakor a membránpotenciált a protonpumpák tartják fenn. Ezek megfelelő intenzitású működéséhez folyamatos NADH-termelésre van szükség. Az alfa-ketoglutarát dehidrogenáz nagyfokú gátlása a NADH-produkció csökkenéséhez vezet, és ez a membránpotenciál csökkenésének oka. Rotenon jelenlétében az F_1/F_0 ATP-áz „fordított” működése (ATP-hidrolízis terhére történő proton-kipumpálás) tartja fenn a membránpotenciált. A hidrogén-peroxid és rotenon együttes adásakor bekövetkező nagyfokú ATP-koncentráció-csökkenés nem teszi lehetővé, hogy az ATP-áz működés normál membránpotenciált tartson fenn. A fenti adatok az idegvégződés mitokondriumában az I-es komplex és az F_1/F_0 ATP-áz szerepét húzzák alá a membránpotenciál fenntartásában.

A hidrogén-peroxiddal kiváltott oxidatív stressz korai szakaszában tehát a mitokondrium-membránpotenciál megtartott, amelyhez azonban a légzési lánc komplex I., illetve az F_1/F_0 ATP-áz működése szükséges. Ha ezek bármelyike csökkent aktivitású, a mitokondrium elveszti a membránpotenciálját, aminek következtében gyakorlatilag megszűnik a mitokondriális ATP-termelés és a Ca^{2+} -felvétel.

Mind a Parkinson-kórban, mind a hipoxiás agykárosodásban leírták a komplex I. csökkent működését (5). Az eredményeink alapján valószínűsíthető, hogy emiatt a mitokondriumok érzékenysége oxidatív stressz iránt nagymértékben megnő, ami a mitokondriumok károsodása miatt a sejtpusztulás oka lehet.

Irodalom

1. Halliwell, B. and Gutteridge, J. M. C.: Oxygen radicals and the nervous system. *Trends Neurosci.*, 8 (1985) 22–26.
2. Olanow, C. W.: A radical hypothesis for neurodegeneration. *Trends Neurosci.*, 16 (1993) 439–444.
3. Schmidley, J. W.: Current concepts of cerebrovascular disease and stroke. *Stroke*, 25 (1990) 7–12.
4. Phillis, J. W.: A „radical” view of cerebral ischemic injury. *Prog. Neurobiol.*, 42 (1994) 441–448.
5. Turrens, J. E., Boconi, M., Barilla, J., Chavez, U. D. and McCord, J. M.: Mitochondrial generation of oxygen radicals during reoxygenation of ischemic tissue. *Free Radic. Res. Commun.*, 12–13 (1991) 681–689.
6. Hyslop, P. A., Zhang, Z., Pearson, D. V. and Phebus, L. A.: Measurement of striatal H_2O_2 by microdialysis following global forebrain ischemia and reperfusion in the rat: correlation with the cytotoxic potential of H_2O_2 in vitro. *Brain Res.*, 671 (1995) 181–186.

7. Adam-Vizi, V. and Ligeti, E.: Calcium uptake of synaptosomes as a function of membrane potential under different depolarizing conditions. *J. Physiol. (Lond.)*, 372 (1986) 363–377.
8. Tretter, L. and Adam-Vizi, V.: Early events in free radical-mediated damage of isolated nerve terminals: effects of peroxides on membrane potential and intracellular Na^+ and Ca^{2+} concentrations. *J. Neurochem.*, 66 (1996) 2057–2066.
9. Tretter, L., Chinopoulos, C. and Adam-Vizi, V.: Enhanced depolarization-evoked calcium signal and reduced (ATP/ADP) ratio are unrelated events induced by oxidative stress in synaptosomes. *J. Neurochem.*, 69 (1997) 2529–2537.
10. Tretter, L., Chinopoulos, C. and Adam-Vizi, V.: Plasma membrane depolarization and disturbed Na^+ homeostasis induced by the protonophore carbonyl cyanide-p-trifluoromethoxyphenylhydrazon in isolated nerve terminals. *Mol. Pharm.*, 53 (1998) 734–741.

SOMOGYI BÉLA

A POTE Biofizikai Intézetében működő tanszéki munkacsoport munkája (1996–1998)

A beszámolási időszakban a munkacsoport elsősorban az intramolekuláris fehérjedinamika funkcionális szerepének vizsgálatán dolgozott. Az alkalmazott instrumentális háttér – a szokásos biokémiai labormunkán túlmenően – főleg EPR és fluoreszcencia-spektroszkópia.

Jelen ismertetés – a teljesség igénye nélkül – az elvégzett munka jelentős részét alkotó módszertani fejlesztést, valamint a fejlesztés alkalmazását kívánja bemutatni.

1984-ben [1] leírtunk egy új, a Förster típusú energiatranszfer jelenségén alapuló fluoreszcencia-spektroszkópiai módszert, ami egy új paraméter (f) bevezetésével módot ad arra, hogy ezen paraméter hőmérsékletprofilja alapján információt nyerjünk egy megfelelően jelölt makromolekula mátrixának flexibilitásáról. A módszer eredeti leírása egyetlen donort és egyetlen akzeptort tartalmazó rendszerre vonatkozott. A donor, ill. akceptor egy megfelelő jellemzőkkel rendelkező fluorofór pár, ami lehet a molekulában természetesen „beépített” csoport (pl. Tyr, Trp, PLP stb.) vagy külső (lehetőleg kovalensen és specifikusan kötődő) jelölő.

Az f paraméter az ilyen rendszeren mérhető energiatranszfer hatásfokának és a donor-akceptor jelenlétében mért kvantumhatásfokának a hányadosa. Kimutatható, hogy – 50%-os energiatranszfer-hatásfok alatt – az f értéke monoton nő a hőmérséklet emelésével, s a növekedés annál meredekebb, minél flexibilisebb a donor és az akceptor közötti mátrix.

A módszer gyakorlati alkalmazásának fő nehézsége abból adódik, hogy kísérletesen – technikai okokra visszavezethetően – csak ritkán áll rendelkezésre az egyetlen donort és egyetlen akzeptort tartalmazó objektum. Ez indokolta, hogy a beszámolási időszakban továbbfejlesztettük a módszert, s alkalmassá tettük több jelölt tartalmazó rendszerek vizsgálatára [2].

Kimutattuk, hogy a módszer ilyen általánosításban is alkalmazható, amennyiben a rendszeren meghatározható f paraméter minden esetben lineáris kombinációja az individuális donor-akceptor párokra jellemző egyedi f értékeknek, tehát

hőmérsékletfüggése az individuális festékpárok közötti makromolekula mátrixflexibilitásának – a rendszer sajátosságától függő – átága.

Az f érték a különböző rendszerek esetén az alábbi módon függ az egyedi (f_i) értékektől:

Egy donor – m akceptor

$$f = c' \sum_{j=1}^m \left\langle R_{ij}^{-6} \kappa_i^2 \right\rangle = \sum_{j=1}^m f_j \quad (1)$$

ahol R_{ij} és κ_i^2 a donornak a j -edik akzeptortól való távolsága, ill. a relatív helyzetüket jellemző orientációs faktor egy adott időpillanatban, míg c' egy állandó.

$$f_j = c' \left\langle R_{ij}^{-6} \kappa_i^2 \right\rangle \quad (2)$$

a donornak a j -edik akceptorral való kölcsönhatását írja le.

n donor – egy akceptor

$$f = c' \sum_{k=1}^n \alpha_k \left\langle R_{ik}^{-6} \kappa_i^2 \right\rangle = \sum_{k=1}^n \alpha_k f_k \quad (3)$$

ahol R_{ik} és κ_i^2 a k -adik donornak az akzeptortól való távolsága, ill. a relatív helyzetüket jellemző orientációs faktor egy adott időpillanatban, míg c' egy állandó. A k -adik akzeptornak a donorral való kölcsönhatását a következő összefüggés írja le:

$$f_k = c' \left\langle R_{ik}^{-6} \kappa_i^2 \right\rangle \quad (4)$$

és

$$\alpha_k = \frac{1}{n} \left\langle \frac{\tau_i}{\tau_{av}} \right\rangle \quad \text{valamint} \quad \sum_{k=1}^n \alpha_k = 1 \quad (5)$$

ahol τ_{av} az átlagos fluoreszcencia-élettartam, és τ_i a k -adik donor fluoreszcencia-élettartama egy adott pillanatban.

m donor – n akceptor

$$f = \sum_{k=1}^n \alpha_k \left(c' \sum_{j=1}^m \left\langle R_{ikj}^{-6} \kappa_i^2 \right\rangle \right) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \sum_{j=1}^m f_{kj} \quad (6)$$

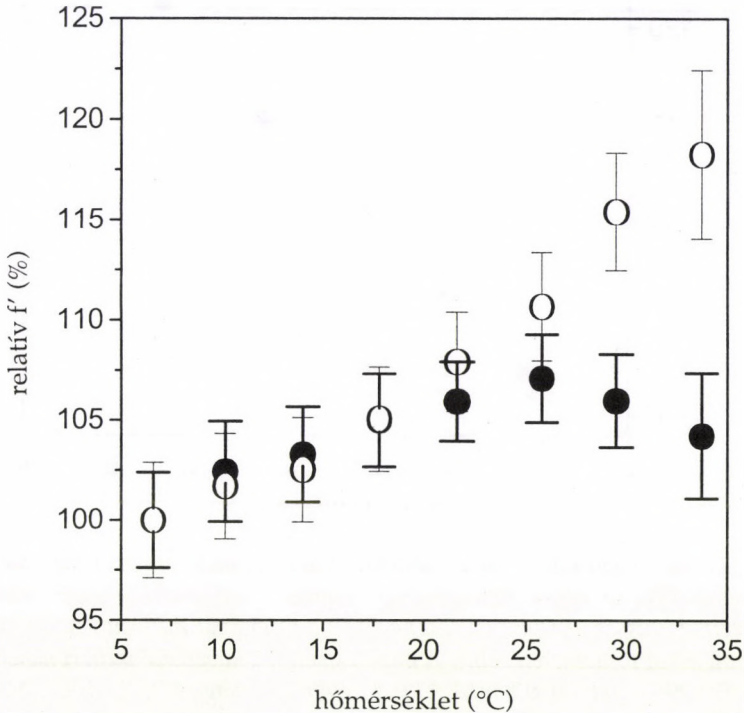
ahol R_{ikj} és κ_i^2 a k -adik donornak a j -edik akzeptortól való távolsága, ill. a relatív helyzetüket jellemző orientációs faktor egy adott időpillanatban, míg c' egy állandó. Az α_k definíciója ugyanaz, mint az (5) egyenletben,

$$f_{kj} = c' \left\langle R_{ikj}^{-6} \kappa_i^2 \right\rangle \quad (7)$$

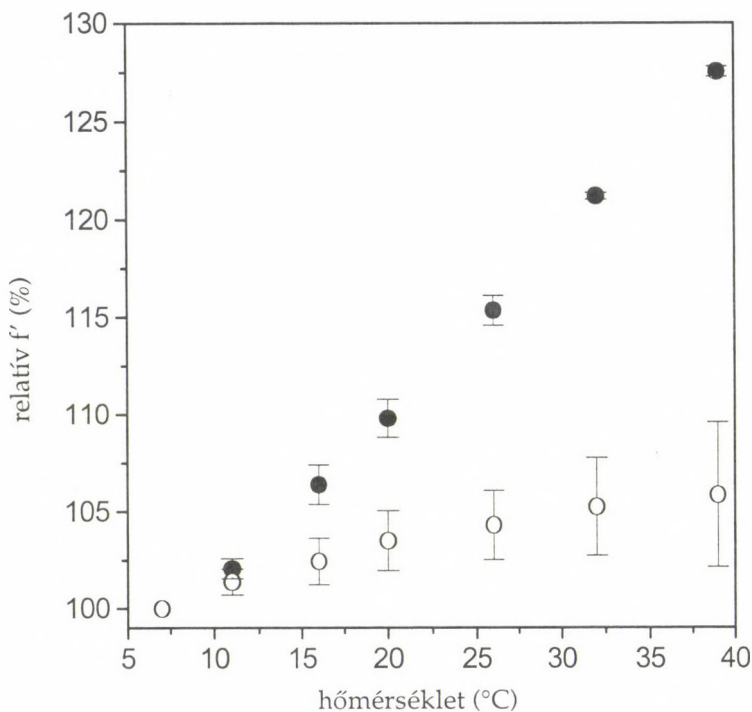
amely a k -adik donornak a j -edik akceptorral való kölcsönhatását írja le.

A módszer további előnye, hogy ha a meghatározott f érték hőmérséklet-profiljának emelkedése csökkenésbe megy át, az az adott hőmérséklet-tartományban előforduló konformációváltozás egyértelmű jele.

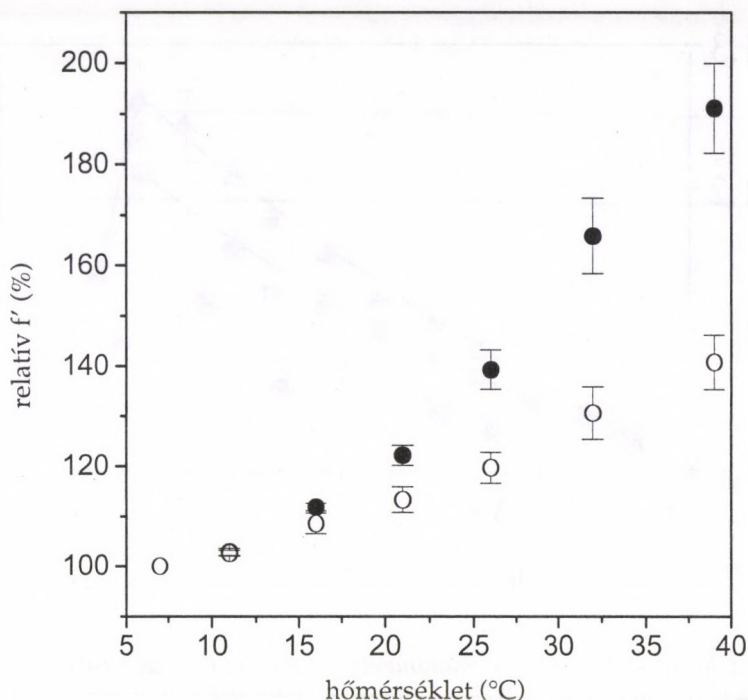
Az alábbiakban néhány példát mutatunk az általánossá tett módszer alkalmazására:



A relatív f' hőmérsékletfüggése Ca-G-aktinban (●), ill. Mg-G-aktinban (○). Az aktin monomer Cys³⁷⁴ aminosavja volt kovalensen módosítva a donorral (IAEDANS), míg az akceptor (FITC) a Lys⁶¹ oldalláncon helyezkedett el. A mérések során a következő puffert használtuk: 2 mM Tris-HCl, pH 8,0, 0,2 mM ATP, 0,1 mM CaCl₂, 0,1 mM MEA és 0,02% NaN₃ (puffer A). A gerjesztési hullámhossz 350 nm, az emissziós 475 nm volt a donor intenzitásának mérésekor. Az optikai réseket 2,5 nm-re állítottuk. Az adatok alapján megállapítottuk, hogy a Ca-G-aktin és az Mg-G-aktin flexibilitása nem különbözik 26 °C alatt, míg ezen hőmérséklet felett a Ca-G-aktinban konformációs állapotváltozás megy végbe. Ezen eredményeinket tudományos közlemény formájában megjelentettük [3]



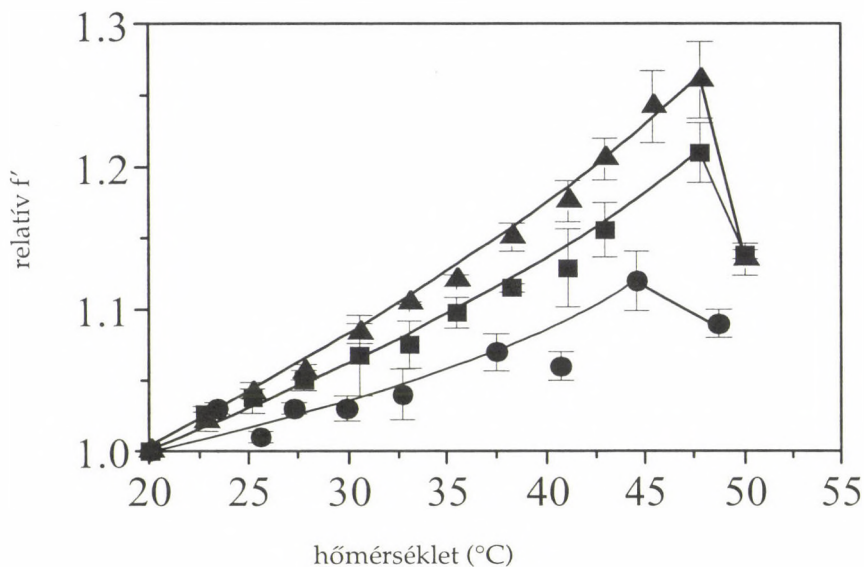
A relatív f' hőmérsékletfüggése intra-monomer fluoreszcenciáttranszfer mérések alapján Ca-F-aktinban (●), ill. Mg-F-aktinban (○). A donor (IAEDANS) a Cys³⁷⁴ oldalláncon helyezkedett el, míg az akceptorral (FC) a Gln⁴¹ aminosavat módosítottuk kovalensen ugyanazon aktin protomeren belül. A mérések során a következő puffert használtuk: 2 mM Tris-HCl, pH 8,0, 0,2 mM ATP, 2 mM CaCl₂ vagy MgCl₂, 100 mM KCl, 0,1 mM MEA és 0,02% NaN₃ (a Mg-F-aktin esetében 0,2 mM EGTA is volt a pufferben). A kettősen jelölt monomert jelöletlen G-aktinnal hígítottuk (1:10) az inter-monomer fluoreszcencia transzfer hatásának kizárása érdekében. A FRET hatásfokát a donor intenzitását mérve határoztuk meg (350 nm/475 nm). A réseket 2,5 nm-re állítottuk. Eredményeink alapján megállapítható, hogy az intra-monomer flexibilitás a Ca-F-aktinban nagyobb, mint a Mg-F-aktinban



A relatív f' hőmérsékletfüggése inter-monomer fluoreszcencia transzfer mérések alapján Ca-F-aktinban (●), ill. Mg-F-aktinban (○). A donor- (IAEDANS) és az akceptor-molekulák (IAF) különböző aktin protomerekben a Cys³⁷⁴ oldalláncon helyezkedtek el.

A donorral jelölt G-aktin akceptoros G-aktinnal volt keverve úgy, hogy ne legyen olyan akceptor, amely két donorral is kölcsönhatásba léphet (1:10). A használt puffer megegyezett az intra-monomer vizsgálatok során alkalmazottal. A FRET hatásfokát a donor intenzitását mérve határoztuk meg (350 nm/475 nm). A réseket 2,5 nm-re állítottuk.

Méréseink tanúsága szerint az inter-monomer flexibilitás (az intra-monomer flexibilitáshoz hasonlóan) nagyobb a Ca-F-aktinban, mint a Mg-F-aktinban. Az aktin filamentummal kapcsolatos eredményeink jelenleg elbírálás alatt állnak [4]



A relatív f' hőmérsékletfüggése a ligandmentes foszforiláz b-re (■), valamint 10 mM ATP (▲), ill. 1 mM AMP (●) jelenlétében. A foszforiláz b allosztérikus ligandjai (aktivátor: AMP; inhibitor: ATP) által indukált konformációváltozás követésére alkalmaztunk a komplex donor-akceptor rendszerekre kiterjesztett fluoreszcencia rezonancia energia transzferméreken alapuló módszert. A foszforiláz b esetében az enzimben található triptofán- (Trp) csoportok donorként, a koenzim, a piridoxal-5'-foszfát (PLP) pedig akceptorként szolgált. A dimer foszforiláz b egy több donor-több akceptoros rendszernek tekinthető, mivel alegységenként 12 db triptofánt és 1, a triptofánnal donor-akceptor párt képező piridoxal-5'-foszfát-csoporttal rendelkezik. A donort 295 nm-en, az akceptort 335 nm-en gerjesztettük. A donor, ill. az akceptor emisszióját 340, ill. 525 nm-en mértük (a gerjesztési és az emissziós rés 4 nm), a méréseket 50 mM-os β -glicerofoszfát pufferben (pH = 6,8) végeztük. A relatív f' érték hőmérsékletprofilja – összehasonlítva a ligandmentes enzimre kapott görbével (■) – az enzim inhibitorának [10 mM ATP (▲)] jelenlétében meredekebben emelkedik, ugyanakkor az aktivátor [1 mM AMP (●)] kötődésének hatására az f' relatív változása kisebb lett. Ezen mérések alapján megállapíthatjuk, hogy az inhibitorral (ATP) telített enzim szerkezete a Trp-csoportok és a koenzim között flexibilisebb lett, míg az enzim aktivátorának (AMP) kötődése rigidebb struktúrát eredményezett. Az f' értékének 47 °C körüli letörése a hődenaturációnak tulajdonítható [5]

Irodalom

- [1] Somogyi, B., Matkó, J., Papp, S., Hevessy, J., Welch, G. R., and Damjanovich, S.: Förster-Type Resonance Energy Transfer as a Probe for Changes in Local Fluctuations of the Protein Matrix. *Biochemistry*, 23 (1984), 3403–3411.
- [2] Somogyi B., Lakos Zs., Szarka Á., Nyitrai M.: Protein Flexibility as Revealed by Fluorescence Resonance Energy Transfer: An Extension of the Method for Systems with Multiple Labels. *Biochemistry* (elbírálás alatt). (1999.)
- [3] Nyitrai, M., Hild, G., Lakos, Zs. and Somogyi, B.: Effect of Ca^{2+} - Mg^{2+} Exchange on the Flexibility and/or Conformation of the Small Domain in Monomeric Actin. *Biophys. J.*, 74 (1998), 2474–2481.
- [4] Nyitrai, M., Hild, G., Belágyi, J. and Somogyi, B.: The Flexibility of Actin Filaments as Revealed by Fluorescence Resonance Energy Transfer: The Influence of Divalent Cations. *J. Biol. Chem.* (elbírálás alatt). (1999.)
- [5] Szarka, Á., Lakos, Zs., Nyitrai, M., Somogyi, B.: The flexibility of glycogen phosphorylase *b* revealed by fluorescence resonance energy transfer: the influence of nucleotides (előkészületben). (1999.)

SÉTÁLÓ GYÖRGY

Neuropeptiderg rendszerek és neuropeptid analógok szerkezet-hatás kutatása

A Pécsi Orvostudományi Egyetem Humán Anatómiai Intézetében működő Neurohumorális Szabályozások nevű kutatócsoport a csoport vezetőjén kívül három kutatóval és két technikai munkatárssal dolgozik.

A csoport kutatási feladatai neuropeptiderg rendszerek és neuropeptid analógok szerkezet-hatás kutatását foglalja magába.

A/a) A peptiderg neuronrendszerek morfológiai kutatását részben *Oligochaeták* idegrendszerén végezzük, abban a reményben, hogy e kisszámú idegelemmel rendelkező és ezért könnyebben áttekinthetőnek vélt idegrendszerrel bíró specieseken folytatott kutatás olyan felismerésekre vezethet, melyek elősegíthetik a több idegelemmel rendelkező, bonyolultabb szervezettségű idegrendszerrel bíró speciesek neuropeptiderg neuronrendszereinek megértését. Az elmúlt három esztendőben feltérképeztük az octopamin-, proctolin-, FMRFamid-, substance-P-, cholecystokinin- és gastrin-immunreaktivitást mutató idegelemeket és ezek serotoninnal való kolokalizációját, kvantitatív morfometriás módszereket alkalmazva. Vizsgáltuk továbbá e neuronrendszerek regenerációs képességét. Megfigyeléseink alapot képeznek az elkövetkező évekre tervezett funkcionális vizsgálatainkhoz.

A/b) A peptiderg neuronrendszerek kétéltűeken folyó vizsgálatának tárgya az olfactorius placodban differenciálódó GnRH neuroblastok migrációjának tanulmányozása. E vizsgálataink során az ontogenezis korai stádiumában, amikor a GnRH neuroblastok még nem hagyták el az olfactorius placodot, egyik oldalon eltávolítottuk az orrplacodot, majd a metamorfózis után immunszövettani módszerrel tanulmányoztuk a GnRH neuronrendszer részleteit. Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy más fajokon, más laboratóriumokban tett megfigyelésekkel ellentétben *Xenopus laevis*-ben az egyik oldali orrplacodban differenciálódó GnRH neuroblastok képesek benépesíteni mindkét agyféltekét, azonban ezekben az állatokban a GnRH-immunreaktivitást mutató neuronok száma csak fele az ép kontrollokban található. Ugyanakkor az olfactorius rendszer jelentős regenerációját is megfigyeltünk, valamint azt, hogy a regenerálódó orrtelepből aber-

rás utakon is elérhetik olfactorius idegrostok a központi idegrendszert. Tervezett kutatásainkban a neuroblastok migrációját szabályozó factorokkal való manipulációkkal, illetve számfeletti és ectopiás orrplacodok beültetését követő vizsgálatokkal kívánunk további ismereteket szerezni a GnRH neuronrendszer egyedfejlődéséről.

B) A hypothalamikus releasing hormonok analógjainak kutatásával foglalkozó munkatársaink hazai kollaborációs partnere a SOTE Biokémiai Intézetének Peptidkémiai Munkacsoportja. Munkatársaink egyrészt a kémikusok által kifejlesztett releasing hormonanalógok hatástani vizsgálatát végzik, másrészt humán endokrin kórképek állatmodelljein tanulmányozzák a leghatásosabb új szintetikus peptidek terápiás alkalmazhatóságát, valamint az analógok alkalmazása során tett élettani megfigyelésekből következtetéseket vonnak le a natív hormon hatásmechanizmusára vonatkozóan. A beszámolási időszakban többféle hormonanalógot vizsgáltunk.

I. Growth hormon-releasing hormon- (GHRH) analógok:

Az utóbbi években kifejlesztett GHRH analógok közül a A-495 jelű agonista bizonyult a leghatásosabbnak. Ezen analóg terápiás hatását vizsgáltuk normál patkányban (1), és a hypothalamikus eredetű törpenövés állatmodelljén, a monosodium glutamáttal (MSG) előidézett GHRH-hiányos állatmodellen (2).

Az újszülöttkorban végzett MSG kezelés elpusztítja a hypothalamus nucl. arcuatúsának GHRH-t termelő neuronjait, aminek következményeként jelentősen csökken az eminentia medianában a GHRH-immunreaktív axonvégződések száma (2).

Megállapítottuk, hogy a fenti analóg adagolásával csökkenthető az MSG által okozott növekedés-elmaradás, és, hogy az analóg pulzatilis formában történő adása hatásosabb, mint folyamatos adása mind a testsúly-, mind a testhosszgyarapodás vonatkozásában. A hypophysis GH-sejtjeinek 24 órás frekvenciával végzett pulzatilis GHRH-expozíciója képes kompenzálni a krónikus GHRH-hiány hatását. Az analóg azonos napi dózisainak folyamatos adása azonban nem eredményezett szignifikáns testhossznövekedést. Ezen megfigyeléseink arra utalnak, hogy a terápiás hatás eléréséhez előnyösebb a GHRH pulzatilis alkalmazása (1, 2), de nem szükséges az exogén GHRH-t az endogén GH 3-4 óránként jelentkező pulzusfrekvenciájának megfelelően alkalmazni.

Megfigyeléseink szerint a pulzatilis GHRH-adagolás hatására bekövetkezett felgyorsult növekedésért az MSG-kezelt állatok GH-sejtjeinek GHRH-ra adott fokozott válaszkészsége lehet a felelős, azaz az MSG-ledált és pulzatilis GHRH-kezelést kapott állatokban az exogén GHRH-pulzusok a normál kontrolloktól is meghaladó GH-pulzusokat indukáltak (2).

Hypophysis-sejtszuperfúziós rendszerben végzett vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy a GHRH folyamatos módon történő adásának gyengébb hatásáért a GH-sejtek GHRH-val szembeni deszenzitizációja tehető felelőssé (2).

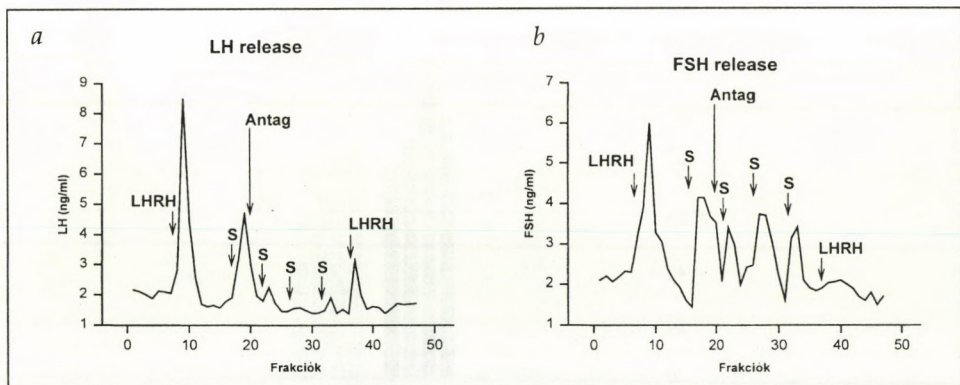
II. Luteinizáló hormon-releasing hormon- (LHRH) analógok:

Az LHRH analógok közül az 1544-es számú antagonistát használtuk az LHRH FSH-sekrécio szabályozásban betöltött szerepének vizsgálatára (3).

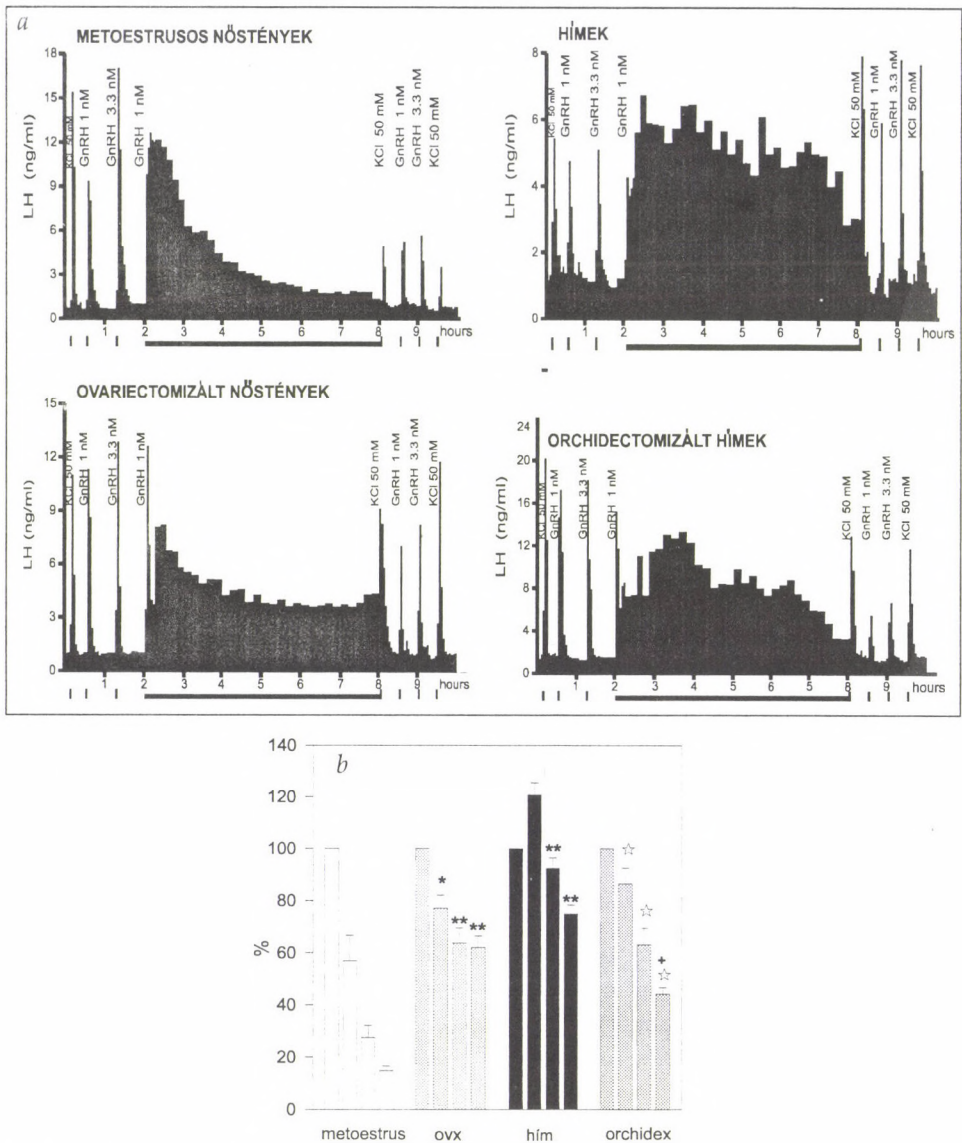
Több korábbi adat szól amellett, hogy az FSH-nak az LHRH mellett saját releasing hormonja is van, a hormont azonban ez ideig még nem tudták izolálni. Az 1544-es jelű LHRH antagonista alkalmazását és a hypothalamus eminentia medianájának elektrokémiai stimulációját kombinálva, vizsgáltuk a stimuláció hatására bekövetkező LH és FSH release-t. Megfigyeléseink szerint a stimulációt megelőzően adott LHRH antagonista kivédi a stimuláció LH-felszabadulást okozó, de nem védi ki FSH release-t kiváltó hatását. Ez azt jelzi, hogy a stimuláció hatására bekövetkezett FSH-szekrécio döntő részét nem az LHRH-felszabadulás idézte elő. Megfigyeléseink új adatokkal támasztják alá az FSH-releasing faktor létezésének gondolatát, és elsőként igazolták, hogy a hormon jelen van az eminentia medianában, és onnan felszabadítható (3).

Ezt az *in vivo* megfigyelést *in vitro* is megerősítettük (3). Elektrokémiailag stimulált eminentia medianákat helyeztünk szuperfúziós rendszerbe. Az eminentia medianákat perfundáló mediumot hypophysis-sejteken áramoltattuk át, amely FSH- és LH-felszabadulást váltott ki a sejtekből. Amennyiben az 1544-es jelű LHRH antagonistát a rendszerbe juttattuk, az eminentia medianákról lefolyó medium nem váltott ki LH-felszabadulást, de előidézte az FSH release-ét (1. ábra).

Egy korábbi kísérletsorozat folytatásaként megvizsgáltuk, hogyan reagálnak szuperfúziós rendszerben a gonadektomizált állatokból nyert hypophysis-sejtek 6 órás, folyamatos Gonadotropin Releasing Hormon- (GnRH) infúzióra. Normál nőtényből származó sejtek LH szekrécioja a GnRH egyszeri dózisaira kezdetben nagy amplitúdójú válaszokat mutat, majd a GnRH folyamatos adása alatt az LH-leadás gyorsan csökken, és a kezelés utolsó negyedében az LH-válaszok a kezde-



1. ábra. LH (a) és FSH (b) release az *in vitro* hypophysis-sejtszuperfúziós rendszerben. Az MI-1544-es LHRH antagonista (Antag) perfúzióját megelőzően az exogen LHRH és az stimulált eminentia medianákon átfolyó medium (S) a hypophysis-sejtekből LH-t és FSH-t szabadít fel. Az LHRH antagonista alkalmazását követően az eminentia medianákon átáramló medium FSH-kibocsátást előidéző hatása megmarad, míg az LH-releasing hatása nem mutatkozik. A szuperfúzió végén alkalmazott exogen LHRH erősen csökkent LH- és FSH-kibocsátást idéz elő



2. ábra. Gonadectomy hatása a GnRH indukált deszenzitizációra szuperfúziós rendszerben. a) Tipikus szuperfúziós görbék az egyes kísérleti csoportokból. Az x tengely alatti oszlopok jelzik a mintabeadás időtartamát. b) A 6 órás, 1 nM-os GnRH-inkubáció alatti deszenzitizáció több kísérlet eredménye alapján. 100% = a 6-órás periódus első 90 percében felszabadult LH mennyisége. *, **: $p < 0,05$ és $0,01$ versus metoestrusos nőstény; $p < 0,01$ versus kontroll hím, +: $p < 0,01$ versus metoestrusos nőstény

tinek csak 1/3-át érik el. A kísérlet végén adott rövid GnRH- és K^+ - stimulusokra erősen csökkent válaszokat kapunk. Hasonló kezelésre az ép hím állatokból származó hypophysis-sejtek GnRH-val kiváltott LH-leadása a kísérlet kezdetén kapott válaszokhoz képest a folyamatos GnRH-adás alatt emelkedik, és a kezelés végén észlelt hormonválasztás-mérséklődés alatt sem süllyed a kiindulási érték 2/3-a alá. A kísérlet végén adott rövid GnRH- és K^+ - stimulusokra nem csökkent, hanem emelkedett hormonválaszokat kapunk (2. ábra).

A gonadectomizált állatokban ez a nemi különbség nagymértékben csökkent. A megfelelő kontrollhoz viszonyítva szignifikánsan csökkent az LH-sejtek GnRH-deszenzitizációja az ovariectomizált állatokban és nőtt az orchidectomizáltakban. Ugyanakkor megállapítottuk, hogy kasztrálást követően a deszenzitizáció mértéke mindkét nemből származó sejteken gyakorlatilag egyforma.

Ha a hormonegyensúly az estrogen irányába tolódik el abszolút vagy relatív értékben (ivarérett nőstény vagy orchidectomizált hím), akkor jelentős az azonnal felszabadítható LH mennyisége, de az azonnal felszabadítható hormonraktár újrafeltöltődése a tartós igénnyel nem tud lépést tartani, ezért a tartós GnRH-hatásra az LH-kiürítés mértéke meredeken csökken. Ha sok a tesztoszteron, vagy kevés az estrogen (ivarérett hím, ovariectomizált nőstény), akkor az azonnal felszabadítható LH mennyisége kevesebb, de az utánpótlás viszonylag gyors, így az LH-leadásban nincs csökkenés, vagy a csökkenés csak kismértékű (4).

Egy másik kutatási vonalunk tumornövekedést gátló GnRH hormonkészítmények előállítására. Az orsóhal (lamprey)-GnRH (l-GnRH) egy 3. típusú, ősi GnRH-molekula, amely a GnRH analógokhoz hasonlóan gátlólag hat a tumornövekedésre, de endokrin hatása csak töredéke azokénak. Az MI-1544 jelű készítmény előnye, hogy antagonistaként nincs stimuláló hatása az endokrin rendszerre.

A jobb daganatnövekedést gátló hatás elérése érdekében peptidkémikusaink makromolekulákhoz konjugálták ezeket az anyagokat (5, 6). Minthogy ezek a hormonkészítmények csak relatíve nagy koncentrációban hatnak a tumornövekedésre, fontos volt megvizsgálni, hogyan befolyásolják patkányban a gonádrendszert és annak működését. Három hétig tartó kezelés során az MI-1544 és nagyobb dózisban a PX jelű konjugátuma is csökkentette az ováriumsúlyt. Az l-GnRH csak 500 μg -os napi dózisban növelte az ováriumsúlyt, hasonlóan a pozitív kontrollként használt GnRH szuperagonistához, az Ovurelinhez. Az l-GnRG PX-konjugátuma nem okozott ováriumsúly-változást. Az uterus- és tubasúlyokban is ugyanezen kezelési csoportokban láttunk eltérést a kontrollhoz viszonyítva.

A szérum LH-szintet az MI-1544 jelű antagonistá és a konjugált hormonkészítmények nem, csak az Ovurelin és az l-GnRH 500 μg -os dózisa emelte, de ez a deszenzitizáció miatt lényegesen csökkent a kezelés utolsó napjára.

Régebbi vizsgálatokból tudjuk, hogy a GnRH-antagonista-kezelés ösztroosz, az agonista pedig konstans diösztroosz irányába tolja el a hüvelykenetképet. Az l-GnRH nagy dózisa is megnövelte a diösztrooszok arányát. A legérdekesebb változást a nagyobb dózisú antagonistá-kezelés során láttuk: a kenetkép az estruszok által dominált képből átfordult a túlnyomórészt diösztrooszos kenetképbe. Az antagonistá és az l-GnRH nagyobb dózisa hatására a hüvelyciklusok idő-

ben is megnyúltak. Az antagonistá mindhárom alkalmazott dózisban 100%-ban gátolta az ovulációt, az Ovurelin is gyakorlatilag, az l-GnRH nagy dózisban 50%-ban, a PX konjugált MI antagonistá nagyobb dózisa pedig 80, illetve 100%-ban (annak ellenére, hogy ennél az utóbbi. kezelésnél a kenetképben nem volt lényeges eltérés).

Összesítve azt mondhatjuk, hogy az MI-1544 jelű anyag endokrin hatását gyengítette, de nem eliminálta a PX-hordozóhoz való kötés. Az l-GnRH endokrin hatását viszont gyakorlatilag egészen kivédte a konjugálás. Hasonlóan a tumorgátló hatáshoz, a megfigyelt endokrin hatások sem magyarázhatók a hordozóról való szabad hormon-felszabadulással.

Irodalom

1. Kovács, M., Fánssik, A., Mező, I., Teplán, I., Flerkó, B.: Effects of continuous and repetitive administration of a potent analog of GH-RH (1-30)NH₂ on the GH release in rats. *Neuroendocrinology*, 59 (1994) 371–379.
2. Kovács, M., Fánssik, A., Hrabovszky, E., Mező, I., Teplán, I., Flerkó, B.: Effects of continuous and repetitive administration of a potent analog of GH-RH (1-30) amide on GH release in rats treated with monosodium glutamate. *J. Neuroendocrinol.*, 7 (1995) 703–712.
3. Koppán, M., Kovács, M., Mező, I., Flerkó, B.: Electrochemical stimulation of the median eminence evokes FSH but not LH release after LHRH antagonist treatment in vivo and in vitro. *J. Neuroendocrinol.*, 10 (1998) 231–236.
4. Horváth, J. E., Helyes, Zs., Flerkó, B.: Gonadectomy modifies the gender specific pattern of desensitization of pituitary cells by gonadotropin-releasing hormone in the superfusion system. *Acta Biol. Hung.*, 47 (1996) 329–339.
5. Mező, I., Lovas, S., Pályi, I., Vincze, B., Kálnay, A., Turi, G., Vadász, Zs., Seprődi, J., Idei, M., Tóth, G., Gulyás, É., Ötvös, F., Mák, M., Horváth, J. E., Teplán, I., Murphy, R. F.: Synthesis of gonadotropin-releasing hormone III analogs. Structure-antitumor activity relationships. *J. Med. Chem.*, 40 (1997) 3353–3358.
6. Vincze B., Pályi I., Gaál D., Kálnay A., Pató J., Mező I., Tóth G., Horváth J., Teplán I., Lovas S., Murphy, R. F.: GnRH analóg-makromolekula konjugátumok: új perspektíva a daganatok hormon-terápiájában. *Magyar Onkológia*, 4 (1997) 294. (abstract).

Észleleteink a septum és a hypothalamus felépítéséről és a gonádok agyi kapcsolatairól

A septumot és a Broca-féle diagonális köteget fontos relay-állomásnak tekintik, amely alapvető szerepet játszik a limbikus rendszert a hypothalamusszal és az agytörzzsel összekötő neuronális folyamatokban. Ezen régió egységes állományaiban a két legfontosabb projekciós neurontípus a kolinerg és a parvalbumin-tartalmú kalciumkötő fehérjét tartalmazó GABAerg. Ezek mellett más kalciumkötő fehérjét (calbindin D28, calretinin) tartalmazó idegsejt is előfordul heterogén módon eloszló sejtpopulációkban. Kutatócsoportunk (MTA-SOTE EKSZ Neuroendokrin Kutatócsoport) Kiss József vezette munkacsoportja behatóan tanulmányozta a mediális septum neuronális organizációját, kémiai neuroanatómiai felépítését. Megfigyeléseikből néhányat röviden ismertetek.

A mediális septumban azonosított négy sejtféleség (ChAT-pozitív kolinerg, parvalbumin-tartalmú GABAerg, calbindin- és calretinin-tartalmú) eloszlására vonatkozó adataik komputermikroszkópos egymásra vetítésével megállapították, hogy a négy sejtpopuláció a mediális septum sagittális szimmetriasíkja mentén mediolaterálisan egymást követő rétegekbe rendeződik. E rétegek a mediális septum középvonalára hagymalevélszerűen egymásra boruló elrendeződést hoznak létre. A négy, neurokémiai tulajdonságban különböző sejtípus a négy mar kerre nézve kizárólag egyféle, egyedi sejtféleségnek felel meg.

Mint ismeretes, az utóbbi időben tett megfigyelések arra utalnak, hogy a központi idegrendszerben az excitatorikus aminosavak (glutamát, aszpartát) az excitatorikus neurotranszmitterek kiemelkedő csoportját képezik. Ezért előtérbe kerültek az ezen aminosavakkal és receptoraikkal kapcsolatos kutatások. A glutamátreceptoroknak két nagy csoportját, az ionotrop és a metabotrop glutamátreceptorokat különböztetik meg. Mindkét csoportnak számos alcsoportja van. Kiss Józsefék feltérképezték az 1a típusú metabotrop glutamátreceptort (mGluR1a) tartalmazó neuronok eloszlását a bazális előagyban. Megállapították, hogy az ezen receptort tartalmazó sejtek széleskörűen előfordulnak a bazális előagy teljes rostrocaudális kiterjedésében. Megfigyelték azt is, hogy az mGluR1a immunpozitív sejtek egy része kolinerg neuron. A parvalbumin-tartalmú

GABAerg sejtek nagy többsége, a calretinin-tartalmúak egy része (főleg a mediális részen) tartalmaz kolokalizációban mGluR1a-t, a calbindin-tartalmúakban nincs mGluR1a.

További vizsgálataikban Kiss Józsefék keresték az ezen régióba projiciáló glutamaterg rostok eredetét. ³HD-aszpartát szelektív, nagy affinitású axonterminális felvételén és retrográd axonális transzportján alapuló autoradiográfiával tanulmányozták, hogy a septum mediális, illetve intermediolaterális területébe adott ³HD-aszpartát mikroinjekciót követően a hypothalamus hátsó régiójában, illetve a mesencephalonban hol jelennek meg autoradiográfiásan jelölt sejtek. Megfigyeléseik szerint a supramamilláris régióban, a premamilláris areában (elsősorban a ventrális sejtcsoportban) fordultak elő nagyobb számban ilyen sejtek. A supramamilláris régióban, illetve premamillárisan az autoradiográfiásan pozitív sejtek egy része calretinin-immunreaktivitást mutatott.

Kiss József munkacsoportja feltérképezte az mGluR1a hypothalamikus eloszlását is. E receptortípus kiterjedten előfordul számos hypothalamikus sejtcsoportban, többek között a n. paraventricularisban, supraopticusban, suprachiasmaticusban, arcuatusban, mamilláris magokban, azonban nincs jelen például a n. ventromedialisban. E munkacsoport legújabb észleletei szerint az mGluR1a kolokalizációban jelen van a növekedési hormon-releasing hormont (GHRH) és a β -endorphint tartalmazó arcuatus neuronokban, a vasopressint tartalmazó supraopticus, paraventricularis és suprachiasmaticus neuronokban, a corticotropin-releasing hormont (CRH) tartalmazó paraventricularis neuronokban, valamint a vasoaktív intestinalis polypeptidet (VIP) tartalmazó suprachiasmaticus neuronokban. Ezen észleletek morfológiai oldalról támogatják azon funkcionális jellegű vizsgálatokat, melyek szerint a GHRH, a β -endorphin, a vasopressin, a CRH és a VIP felszabadulását glutamaterg elemek stimulálják.

Az 1950-es évek végén Szentágothai professzorral elsőként vetettük fel, hogy a mellékvesekéreg és a hypothalamus között van neuronális kapcsolat. Gerendai Idával a '70-es években végzett vizsgálataink alapján hasonló következtetésre jutottunk a petefészek és a hypothalamus relációjában. Csak a közelmúltban nyílt lehetőség arra, hogy a feltehetően több neuronból felépülő pályarendszert Gerendai Ida vezetésével közvetlen vizsgálat tárgyává tegyük. Ezt a lehetőséget a transzneuronális víruspálya jelölési eljárása jelentette. Tóth Ida előadásában részletesen ismertetni fogja a módszert. Csak annyit említek meg, hogy neurotrop vírust (ami az esetek nagy részében az Aujeszky-féle vírus Bartha által módosított törzse) kell beadni abba a szervbe vagy területbe, amelynek a kapcsolatait tanulmányozni kívánjuk. A vírust a szervben lévő idegelemek felveszik. A vírusok retrográd, illetve anterográd transzporttal eljutnak az illető neuronok perikaryonjaiba. Itt osztódás révén szaporodnak, majd átjutnak a vírussal fertőzött első vonalbeli neuronból a vele szinaptikus kapcsolatban lévő második vonalbeli neuronokba, ahonnan feldúsulást követően továbbhaladnak a harmadik, majd a negyedik vonalbeli neuronokba és így tovább. A vírussal fertőzött neuronok kimutatása vírusellenes antiszérummal, immuncitokémiai eljárással történik.

Rátérve konkrét észleleteinkre a petefészek és a központi idegrendszer közötti kapcsolatokat illetően, a vírusnak a petefészekbe történt injekcióját követően 5-6 nappal vírussal fertőzött sejteket találtunk a gerincvelő szürkeállományának intermediolaterális sejtcsoportjában, az agytörzs több területében és néhány egyéb agyi struktúrában. A jelölődés távolról sem diffúz, hanem nagyon diszkrét. Csak viszonylag kevés területen találtunk vírussal fertőzött sejteket, s a jelölt sejtek száma ugyan állatonként eltért, ám ilyen elemeket mindig ugyanott láttunk. A hypothalamusban különösen intenzíven jelölődött a n. paraventricularis. Találtunk ilyen sejteket az amygdala egyik sejtcsoportjában is.

Megemlítem, hogy előkísérleteink szerint ha a vírust a herébe adjuk, ugyanazon struktúrák jelölődnek, mint a petefészek felől.

Más kutatók, akik a vírust a pancreasba, illetve a mellékvesekéregbe fecskendezték, ugyanezen struktúrákban mutatták ki a vírussal fertőzött sejteket. Ez, azt hiszem, ismereteink alapján nem igazán meglepő, de erre vonatkozóan ilyen konkrét, direkt morfológiai bizonyítékot elsőként ezek a megfigyelések szolgáltatnak.

Észleleteinkkel kapcsolatosan természetesen számos kérdés vetődött fel. Ezek egyike: ismerve a petefészek perifériás beidegzését, kérdés az, hogy a petefészek felől jelölődött struktúrák közül melyek jelölődtek az ovariumot beidegző sympathikus idegrostokon keresztül, s melyek a vaguson keresztül. Megfigyeléseink szerint a n. vagus-átmetszett állatokban a gerincvelői jelölődésen kívül az agytörzsben és a hypothalamusban csak néhány struktúra jelölődött, s az is kisebb mértékben, mint intakt vagus esetén. Ez arra utal, hogy a petefészek innervációjában a vagus feltehetően jelentős szerepet játszik.

Felvetődik egy alapvető fontosságú kérdés: mi a funkcionális jelentősége a gonádokkal kapcsolatban lévő idegrendszeri struktúráknak? Ez ma még – részleteiben – felderítetlen, azonban megemlítem Gerendai doktornak egy idevágó korábbi észleletét. A petefészek felől jelölődött struktúrák egyike a locus coeruleus volt. Ezen área egyik oldali (jobb oldali) sértése esetén az egyik petefészek eltávolítását követő kompenzatorikus hypertrophia a másik petefészekben nem következett be. A petefészek perifériás beidegzésének jelentőségére utal, hogy a szerv farmakológias denervációja után ugyancsak elmarad az előbbi válaszreakció.

Előadásomban ismertetett észleleteinkkel kapcsolatosan természetesen még számos kérdés adódik és vár megválaszolásra. Ezek egy részére jelenleg keressük a feleletet, s remélhetőleg egy következő alkalommal kutatócsoportunk további eredményekről tud majd beszámolni, s ekkor szólhatunk a mai előadásomban nem érintett, Dr. Nagy György által vezetett ígéretes kutatásokról is, melyek a szopási inger által kiváltott prolaktin-válaszreakcióban alapvető szerepet játszó hypothalamikus prolaktin-releasing faktor kémiai szerkezetének felderítését célozzák.

Az ismertetett kutatásokban részt vettek: Kiss József, Gerendai Ida, Tóth Ida, Csáki Ágnes, Kocsis Katalin, Szeiffert Gábor, Boldogkői Zsolt és Medveczky István.

TÓTH IDA E., PALKOVITS MIKLÓS

Idegpályák feltérképezése vírusok segítségével

Sabin^{1,2} már 1937-ben leírta, hogy egyes, elsősorban az idegrendszert megbetegítő vírusok jellemzően az ingerületátvivő helyeken terjednek tovább és fertőzik meg a központi idegrendszert. Feltételezte, hogy ha egyszer a tovaterjedő vírust láthatóvá lehet majd tenni, a neurogén vírusok alkalmasak lesznek idegrendszeri kapcsolatok, idegpályák vizsgálatára. Fél évszázadnyi módszertani fejlődést követően, az immunhisztokémia széles körű elterjedése révén végül lehetővé vált a vírusfehérjék kimutatása. A vírusok a neuroanatómiai vizsgálo módszerek repertoárjába kerültek.^{3,4,5} Laboratóriumunkban, hazánkban elsőként, három intézmény együttműködésének keretében alkalmazzuk ezt az eljárást.^{6,7,8} A módszer lényege, hogy a szervek idegvégződéseinek közelébe befecskendezéssel juttatott vírusok a végződészek által felvevődnek, elvándorolnak az idegsejt magjáig, majd megindul a vírusok sokszorozódása. A folyamat továbbhaladása során a fertőzött idegsejtek megfertőzik a szinaptikusan kapcsolódó többi idegsejtet, akár az idegsejtlánc 3. vagy 4. tagját is. A fertőzött idegsejtek rutin immunhisztokémiai módszerrel kimutathatók, így az adott szerv beidegzésével kapcsolatos idegelemek feltérképezhetők. A természetben az emlősállatok közül elsősorban a sertéseket megfertőző vírussal, az Aujeszky-féle megbetegedésvírus⁹ gyengített változatának segítségével, a Bartha-vírussal¹⁰ a laboratóriumi állatok kísérleti körülmények között sikeresen megfertőzhetők.¹¹ A vírusokat Boldogkői Zsolt, a Gödöllői Mezőgazdasági és Biotechnológiai Központ molekuláris biológus munkatársa szaporítja és állítja elő, Medveczky István, az Állatorvostudományi Egyetem Mikrobiológiai és Járványtani Tanszéke Virologiai Laboratóriumának vezetője biztosítja a kísérleti állatok fertőzéséhez és a műtéti beavatkozás utáni állapot szakszerű ellátásához a megfelelő körülményeket.

A vírusos pályajelölési módszer alkalmazásával lokalizáltunk egy olyan magcsoportot a patkányagyban, amely nem szerepel az idegrendszeri atlaszok ábrái között. Nevezetesen azt a preganglionáris magcsoportot, amely a könnyimirigyet látja el vegetatív, paraszimpatikus idegrostokkal.⁸ A hagyományos, nem transz-

szinaptikus jelölő módszerek erre a vizsgálatra nem alkalmasak, mivel a mirigybe fecskendezett jelzőanyag csak a vegetatív idegdúcig jelöli a pályát, az agytörzsbe már nem jut el. Vizsgálatainkban kétféle, immunhisztokémiaiag elkülöníthető, egy Bartha-alapú rekombináns vírus és a Bartha-vírus alkalmazásával feltérképeztük az említett magcsoport felső szalivátoros maghoz való topográfiai viszonyát. A két vírust a laboratóriumi fehérpatkány könnyimirigyébe és a szubmandibuláris mirigyébe adtuk külön-külön, majd immunhisztokémiai módszerrel azonosítottuk a vírusjelölt idegsejteket az agyban. A módszer segítségével megállapítottuk, hogy a könnyimirigyet ellátó preganglionáris rostok a felső szalivátoros mag részét képezik, annak alsó egyharmadát foglalják el az agytörzsben, a nyúltvelőhíd hátán. Hasonlóképpen vírusos pályajelölés alkalmazásával állapítottuk meg a fültőmirigyet ellátó preganglionáris agytörzsi paraszimpatikus idegsejtek elhelyezkedését.

Kísérletek folynak olyan rekombináns vírus alkalmazására, amely a vírusfertőzés igen korai stádiumában is kimutatható, így alkalmassá válik más módszerekkel (többszörös immunhisztokémia, *in situ* hibridizációs hisztokémia) való kombinálásra. Ezek együttes alkalmazásával a vírusokkal jelzett idegpályákat alkotó idegsejtek kémiai jellemzése is lehetővé válik. Laboratóriumunkban vírusjelöléses vizsgálatok folynak az érzőpályák és az agytörzsi katekolaminerg idegsejtek topográfiai kapcsolatainak tisztázására, az olivocochleáris rendszer kapcsolatainak kimutatására (Horváth Miklós PhD hallgató), valamint az akusztikus stressz morfológiai elemeinek, pályáinak feltérképezésére (Helfferich Frigyes PhD hallgató).

Irodalom

1. Sabin, A. B., Olitsky P. K., (1937): Pathological evidence of axonal and trans-synaptic progression of vesicular stomatitis and eastern equine encephalomyelitis. *Amer. J. Pathol.*, 13: 615.
2. Sabin, A. B. (1937): The nature and rate of centripetal progression of certain neurotropic viruses along peripheral nerves. *Amer. J. Pathol.*, 13: 616–617.
3. Ugolini G. (1995): Transneuronal tracing with alpha-herpesviruses: a review of methodology. In: Kaplitt, M. G. Loewy, A. D. (eds), *Viral Vectors. Gene Therapy and Neuroscience Applications*. Academic Press, New York, 293–317.
4. Card J. P. (1995): Pseudorabies virus replication and assembly in the rodent system. In: Kaplitt, M. G. Loewy, A. D. (eds). *Viral Vectors. Gene Therapy and Neuroscience Applications*. Academic. Press, New York, 319–347.
5. Enquist L. W. (1995): Circuit-specific infection of the mammalian nervous system. Pseudorabies virus, a neurotropic alpha herpesvirus, provides a valuable means for probing cellular interactions in the brain. *AMS News*, 61: 633–638.
6. Tóth, I. E., Palkovits M. (1997): Viral labelling of synaptically connected neurons. *Neurobiology*, 5, 17–41.
7. Tóth, I. E. (1998): Transneuronal labelling of CNS neurons involved in the innervation of the adrenal gland. *Horm. Metab. Res.*, 30: 329–333.
8. Tóth, I. E., Miselis, R. R., Boldogkői, Zs., Medveczky I., Yang, M., Palkovits M. (1997): Subdivisions of the salivatory nucleus projecting to the lacrimal and parotid glands as revealed by transsynaptic tracing. *Soc. Neurosci. Abstr.*, Vol. 23., Part I., 429.

9. Aujeszky A. (1902): A veszethezettel összeheszhethető, oktanilag ismeretlen, fertőző eredetű betegségről. *Veterinarius*, 25: 387–396.
10. Bartha A. (1961): Kísérletek Aujeszky-féle vírus virulenciájának szelidítésére. *Magyar Állatorvosok Lapja*, 16. 42–45.
11. Lomniczi, B. (1988): Aujeszky' disease (pseudorabies) in laboratory and captive animals. In: *Virus disease in laboratory and captive animals*. (Ed. Darai, G.) Martinus Nijhoff Publ., Boston, 205–218.

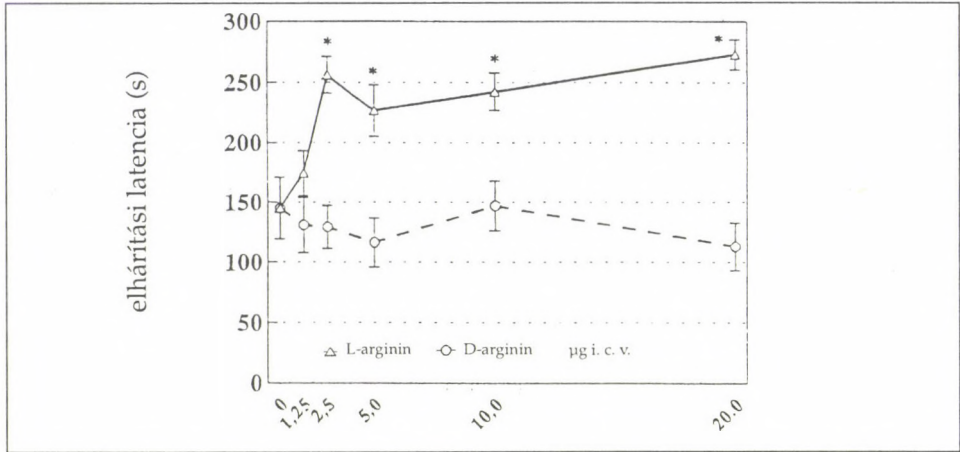
A nitrogén-monoxid szerepe a tanulási és memóriafolyamatok szerveződésében

A beszámolóban ismertetett kutatási eredmények a SZOTE Kórélettani Intézetében folyó több mint két évtizedes kutatás részét és folytatását jelentik [1. összefoglaló munka (1)]. Ezekben a vizsgálatokban azt kívántuk kideríteni, hogy a központi idegrendszerben található neuropeptideknek milyen szerepük lehet olyan adaptív folyamatok szerveződésében, mint például a tanulási és memóriafolyamatok.

Ennek kapcsán számos neuropeptidnek a hatását vizsgáltuk, és kimutattuk, hogy a neuropeptidek két nagy csoportba sorolhatók. Többségük javítja a tanulást és a memóriát, egy kisebb csoportjuk rontja ezt. Számos más idegrendszeri folyamatban is részt vesznek, mint pl. az idegrendszer izgalmi állapotának szabályozásában, a kábítószerfüggésben, az alkoholtolerancia kialakulásában, a táplálékfelvétel szabályozásában, a hőszabályozásban stb.

Ezekben a vizsgálatokban azt is kimutattuk, hogy a biológiai hatás kiváltásához nem mindig szükséges a teljes molekula. A molekula kisebb fragmentuma is képes a hatást létrehozni, sőt, a molekula különböző szekvenciája különböző hatások hordozója lehet. Vizsgálataink arra is rámutattak, hogy ezek a neuropeptidek elsősorban mint neuromodulátorok működnek, ami azt jelenti, hogy biológiai hatásukat más neurotranszmitterek működésének megváltoztatásán keresztül fejtik ki (2).

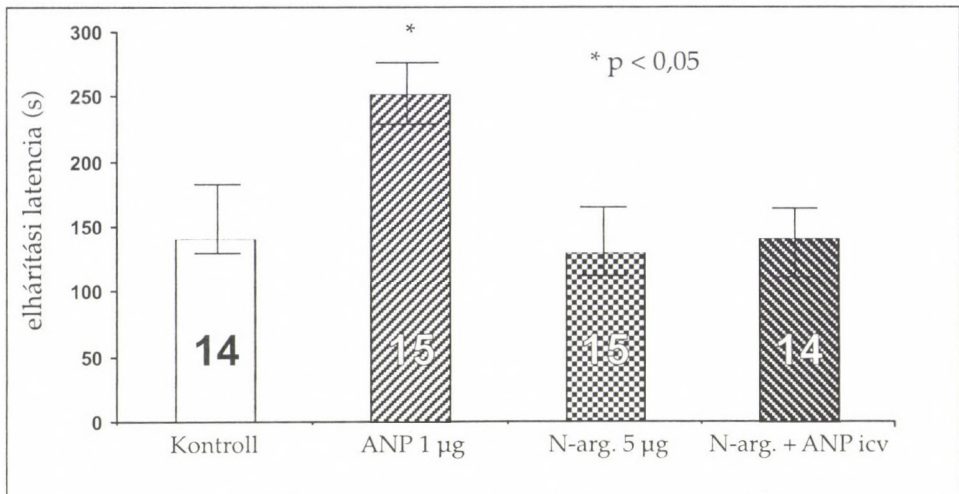
Az elmúlt néhány évben fedezték föl a nitrogén-monoxidot (NO) mint transzmittert, amely számos egyéb hatás mellett a központi idegrendszerben is mint transzmitter működhet (3, 4, 5). Az általunk használt kísérleti modellben tanulmányoztuk a NO szerepét a passzív elhárítás tanulásában, a memóriarögzülésben, valamint a megtanult folyamat vagy jel visszahívásában (6). A nitrogén-monoxid-generálásra L-arginint használtunk, amelyből a nitrogén-monoxid-szintáz hatására NO keletkezik, és a maradék a citrullin. A perifériás hatás kiküszöbölésére az L-arginint közvetlenül az agykamrába adagoltuk 1,2–20 µg mennyiségben. Kontrollnak a D-arginin szolgált, melyből nem keletkezik NO (1. ábra). Kimutattuk, hogy a NO képes a passzív elhárító magatartás tanulását, valamint a memóriarög-



1. ábra. A laterális agykamrába adott L- és D-arginin hatása passzív elhárítási magatartás tanulásának rögzülésére.

Az állatok száma csoportonként 7–24 között változott

zülést dózisösszefüggésben javítani, azonban nem volt hatással a visszahívás folyamataira. Perifériásan adva, közel százszor nagyobb dózisban, hasonló hatást sikerült kimutatni. A nitroarginin, amely gátolja a nitrogén-monoxid-szintáz, önmagában hatástalan volt, különböző dózisban adva. Kivédte azonban az L-arginin tanulást javító hatását (7). Ezekből az eredményekből azt a következtetést lehetett



2. ábra. A nitroarginin-előkezelés hatása az atrialis natriuretikus peptid (ANP) memóriarögzülést fokozó hatására passzív elhárító tanulásban. Az oszlopokban lévő számok az állatok számát jelzik

levonni, hogy a NO a „felerősített” tanulási folyamatban működik közre a passzív elhárításos tanulási modellben. A tanulást igazolja az is, hogy a tanulási társítás után 6 órával, amikor a memóiarögzülés már lezajlott, az L-arginin hatástalannak bizonyult.

A további vizsgálatok tétje az volt, hogy a korábban már kimutatott neuro-peptidek hatásában, amelyben vizsgálataink szerint a neuropeptidtől függően más és más neurotranszmitter vesz részt, a NO szerepet játszhat-e mint közvetítő. Az eddigi vizsgálatok szerint az ACTH, a vasopressin, az atrialis, az agyi és a C típusú natriuretikus peptid hatásában a NO mint közvetítő szerepet játszik. Ha a neuropeptid-kezelés előtt a nitrogén-monoxid-szintáz enzimet nitroargininnal gátoljuk, a neuropeptid tanulást javító hatása felfüggeszthető (2. ábra). (Az ábrán csak az ANP hatása látható. A többi felsorolt peptid lényegében hasonló hatást mutat.)

Az eddigi kutatási eredmények arra utalnak, hogy a tanulmányozott neuro-peptidek hatásának közvetítésében a NO kulcsszerepet játszik. Valószínűleg egy biológiai cascád-rendszer fontos, ha nem az utolsó láncszeme lehet, amely a memóiafolyamat rögzülésében alapvető szerepet játszhat. A korábbi neuro-peptidekkel kapcsolatos ez irányú vizsgálatok folyamatban vannak annak kiderítésére, hogy a neuropeptidek hatásában a NO szerepe általános-e, vagy csak bizonyos neuropeptidek hatásának közvetítésében játszik közre.

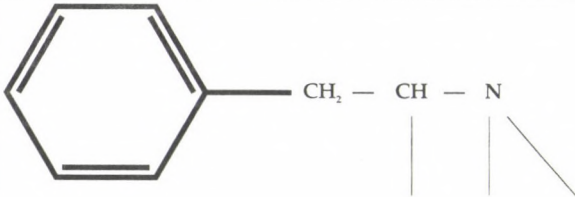
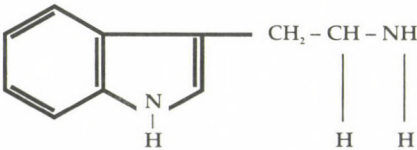
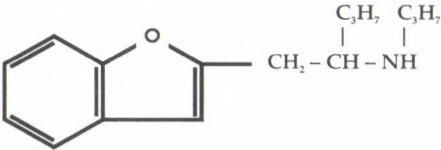
Irodalom

1. Telegdy, G.: *Neuropeptides and Brain Function*. Basel, Karger, 1984.
2. Telegdy, G.: *Reviews in Neurosciences*, 5 (1994) 309–316.
3. Garthwaite, J.: *Trends in Neuroscience*, 14 (1991) 60–67.
4. Moncada, S., Palmer, R. M. J. and Higgs, E. A.: *Pharmacological Reviews*, 43 (1991) 109–142.
5. Bredt, D. S. and Snyder, S. H.: *Neuron*, 8 (1992) 3–11.
6. Ader, R., Weijnen, J. A. V. M. and Moleman, P.: *Psychosomatic Science*, 26 (1972) 126–128.
7. Telegdy, G. and Kokavszki, K.: *Neuropharmacology*, 36 (1997) 1583–1587.

A deprenyl-kutatás új eredményei

A (-)deprenyl (Selegiline, Jumex, Eldepryl, Movergan), melyet 1964/65-ben írtunk le (1, 2), ma minden számottevő országban, köztük első magyar vegyületként az USA-ban is, törzskönyvezett gyógyszer; a magyar gyógyszerkutatás e századi történetének egyetlen originális vegyülete, mely az egész világon használt gyógyszerkincs része, minden kézikönyv részletesen tárgyalja. Ma a Parkinson-kór kezelését, mivel egyedüli vegyületként lassítja a betegség progresszióját, és jelentősen kitolja a levodopa-szükséglet idejét, (-)deprenyellel kezdik el. A (-)deprenyl alkalmazása Parkinson-kórban nagy betegszámon végzett alapvető tanulmányokon nyugszik (3, 4, 5, 6, 7), melyek egyértelműen bizonyítják, hogy a (-)deprenyl hatása a nigrostriatális dopaminerg neuronok védelmén alapul. 1994 után egyre növekvő számban jelentek meg cikkek, melyek Alzheimer-kórban mutatták ki a deprenyl kedvező hatását. 1997-ben jelent meg az első nagy betegszámon végzett vizsgálatról szóló tanulmány, mely arra a következtetésre jutott, hogy a (-)deprenyl Alzheimer-kórban is lassítja a betegség progresszióját (8). A (-)deprenyl nemzetközi sikerét a vegyületről írt cikkek számának az idő múlásával egyre gyorsabb növekedése bizonyítja. Az első két cikk 1964/65-ben jelent meg, 1966–1982 között évi 22, 1983–1991 között évi 153, 1992–96 között évi 219 és 1997-ben 310 cikk jelent meg a (-)deprenylről. Sikerének titka, hogy egyedülálló hatásmóddal fokozza az agyi katecholaminerg neuronok aktivitását (9).

A (-)deprenyl azon hatásmódját, melyen klinikai hatékonysága alapul, pontosan csak az 1990-es évek közepén tisztáztuk, és 1996-ban írtuk le (10). Az 1. ábra mutatja, hogy a (-)deprenyl a feniletilaminnak, az agy természetes anyagának, illetve a feniletilamin évtizedek óta ismert változatának, a metamfetaminnak variánsa. A metamfetamin mindössze abban különbözik anyavegyületétől, a feniletilamintól, hogy az α -szénhez és a nitrogénhez egy-egy metil-gyök kapcsolódik. A (-)deprenyl pedig abban különbözik a metilamfetamintól, hogy pluszként, egy relatíve nagyobb térkitöltésű csoport, egy propargil-gyök is kapcsolódik a nitrogénhez (lásd 1. ábra). Ez a propargil-gyök az, ami alapvető változást okoz a farmakológiai spektrumban. A feniletilamin, valamint az amfetamin és metamfetamin

| | | | | CAE-hatás | Katechol-amin „releasing” hatás | Viszony a MAO-enzimhez |
|---|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------------|---|
|  | | | | | | |
| Feniletilamin | H | H | H | + | + | MAO-B szubsztrát |
| Amfetamin | CH ₃ | H | H | + | + | gyenge gátló |
| Metamfetamin | CH ₃ | CH ₃ | H | + | + | gyenge gátló |
| 1-fenil-2-metil-N-metil-propargilamin; (-)Deprenyl | CH ₃ — | CH ₃ — | CH ₃ | + | 0 | a MAO-B nagyon hatékony szelektív gátlója |
| 1-fenil-2-propilaminopentan; (-) PPAP | C ₃ H ₇ | H | C ₃ H ₇ | + | 0 | 0 |
|  | | | | + | 0 | MAO-A szubsztrát |
| Triptamin | | | | | | |
|  | | | | + | 0 | 0 |
| (-) 1-(Benzofuran-2-yl)-2-propilaminopentan; (-)BPAP | | | | | | |

1. ábra

szimpatomimetikus hatásának ismert mechanizmusa, hogy az agyban a noradrenerg és dopaminerg neuronokból a transzmitter kiáramlását indítják meg, és azt tartósan fenntartják. Ez a „releasing”-hatás a perifériás noradrenerg neuronokon is ugyanúgy érvényesül, mint az agyban. A feniletilamin és az amfetaminok között csak a hatás tartamában van különbség. A feniletilamint a MAO-B enzim elbontja, ezért hatástartama rövid, míg az amfetaminok nem szubsztrátjai a MAO-nak, sőt az enzimet gyengén gátolják, ezért hatásuk tartós. (-)Deprenyl-kutatásaink eredményeként ismertük fel és bizonyítottuk be, hogy a feniletilaminnak van egy eddig rejtve maradt hatása, fokozza az agyi katecholaminerg neuronokban az ideg ingerlés hatására bekövetkező transzmitter áramot, az excitózist. Ezt az eddig ismeretlen, excitózist fokozó hatását neveztem el „catecholaminergic activity enhancer, CAE”-hatásnak. A feniletilamin sokkal nagyobb koncentrációban fejt ki az ismert „releasing”-effektust, mint a CAE hatását. A CAE-hatást tekinthetjük a feniletilamin elsődleges fiziológiai hatásának az agy-

ban. Az amfetamin és metamfetamin ugyanúgy hatnak, mint anyavegyületük, a feniletilamin (11).

Hatás-szerkezet-összefüggés-analíziseink alapján ma már értjük, hogy a (-)deprenyl a nagyobb térkitöltésű propargil-gyök bevitele miatt veszítette el „releasing” tulajdonságát, de megtartotta CAE-hatását, sőt, e tekintetben hatékonyabb, mint anyavegyülete, a metamfetamin. A (-)deprenyl ez idő szerint egyetlen klinikailag használt CAE-hatású vegyület, mely nem szabadít fel catecholaminokat, ezért nem pótolható más, forgalomban lévő gyógyszerrel.

Ma már arra is választ adhatunk, miért nem ismerték fel eddig a feniletilamin és az amfetaminok exocitózist fokozó hatását: a „releasing” effektus elfedte a CAE-hatást. Mivel a (-)deprenyl volt az első CAE-vegyület, mely mentes volt a „releasing” hatástól, ez tette végül lehetővé számunkra ennek az eddig rejtve maradt hatásmódnak a felismerését. Kutatásaink azt is bebizonyították, hogy míg az amfetaminok „releasing” hatását illetően, ismert módon, a (+)enantiomer a jóval hatékonyabb forma, addig a CAE-hatás vonatkozásában ez fordítva igaz, e tekintetben az (-)enantiomer a hatékonyabb. Ezért használjuk a (-)deprenylt, és a további CAE-vegyületeinknek is az (-)enantiomerjeivel dolgozunk.

A (-)deprenyl mint a MAO-B szelektív bénítója vált nemzetközileg ismertté, ezt a hatását ismerik ma is legtöbben. E hatása miatt kezdték eredetileg 1975-ben a levodopadózis csökkentésére („levodopa-sparing”) adjuvánsként alkalmazni Parkinson-kórban. A (-)deprenyl ugyanis máig az egyetlen forgalomban lévő MAO bénító, mely a „sajt-reakció”-tól mentes, így levodopával kombinálható. Mint a MAO-B szelektív bénítója, fontos kísérleti anyag volt a kutatók kezében a MAO-B tulajdonságainak, agyi szerepének kutatásában, és máig világszerte (-)deprenylt használnak referens anyagként a MAO-B szelektív bénítására. Az a cikkünk, melyben 1972-ben a (-)deprenyl szelektív MAO-B bénító hatását leírtuk (12), 1982-ben „Citation Classic” lett.

Az 1980-as évek végén azonban már világossá vált számomra, hogy a (-)deprenyl általunk leírt lényegi hatása, a nigrostriális dopaminerg neuronok aktivitásának erőteljes és tartós fokozása, ennek révén patkányok szexuális aktivitása és tanulási képessége korfüggő hanyatlásának gátlása, valamint az állatok élettartamának szignifikáns megnyújtása független a vegyület MAO-B bénító hatásától. Ennek bizonyítására dolgoztuk ki azt a (-)deprenyl analógot, a (-)1-fenil-2-propilaminopentánt [(-)PPAP], mely megtartotta a (-)deprenyl CAE-hatását, de már nem gátolta a MAO-B-t (13). Az 1. ábra mutatja, hogy a (-)PPAP olyan változata az amfetaminnak, mely két nagyobb térkitöltésű csoportot tartalmaz; egy propilgyök az α -szénhez és egy propilgyök a nitrogénhez kapcsolódik. A (-)PPAP kidolgozásával egyfelől az volt a célunk, hogy a CAE-hatást megtartva, elimináljuk a (-)deprenyl MAO-B bénító hatását, másfelől, hogy meggátoljuk amfetamin metabolitok képződését. Mivel tudtuk, hogy propargilgyök kell ahhoz, hogy a vegyület a MAO-B flavinához kapcsolódva, ott kovalens kötést hozva létre, megbénítsa az enzimet, a propargilgyököket propilgyökké alakítottuk, ezzel megszüntettük az enzimgátló tulajdonságot. A másik változtatás, az α -szénhez kapcsolódó propilgyök, az amfetamin metabolitok képződését akadályozza. Ez a változtatás

is haladás volt a (–)deprenylhez képest, mivel a (–)deprenyl amfetaminokká bomlik le a szervezetben, a (–)PPAP azonban már nem.

Mindazonáltal a (–)PPAP is még feniletilamin/amfetamin-származék, és célunk volt további kutatásaink referens anyagaként olyan CAE-hatású vegyület kidolgozása, mely már nincs rokonságban a feniletilamin/amfetamin-szerkezettel. E cél eléréséhez az a felismerés vezetett (14), hogy nemcsak a feniletilamin, hanem a triptamin is nagyon hatékony CAE/SAE- („serotoninerger activity enhancer”) hatású anyag. Ez a felfedezés megnyitotta az utat olyan hatás-szerkezet-összefüggés kutatásának megindításához, melynek célja új típusú, szelektív CAE/SAE-hatású vegyületek előállítása volt, melyek a (–)deprenyltől és (–)PPAP-tól eltérően már nem amfetamin-származékok. Japán kémikusokkal együttműködve végeztük el az elmúlt 4 év során azt a hatás-szerkezet-összefüggéskutatást, melynek eredményeként, 65 új vegyület közül, az (–)1-(benzo-furán-2-yl)-2-propil-aminopentánt [(–)BPAP] (lásd 1. ábra) választottam ki további kutatásaink referens anyagaként. A (–)BPAP rendkívül hatékonyan és szelektíven fokozza az agyi noradrenerg, dopaminerg és szerotoninerger neuronokban az excitózist, és a shuttle-boxban mérve ez a vegyület jóval hatékonyabb, mint a (–)deprenyl. A mérés a shuttle-boxban azon alapul, hogy az agyi katecholaminok alapvető szerepet játszanak a tanulásban. Ha patkányokon tetrabenazin előkezeléssel rendkívül jelentősen csökkentjük a neuronokban raktározott katecholaminok mennyiségét, ezzel gyakorlatilag meggátoljuk az állatok tanulási teljesítményét. CAE-hatású anyagok a tetrabenazin gátló hatását antagonizálják. A (–)PPAP kétszer, a (–)BPAP százszor hatékonyabb a tetrabenazin tanulást gátló hatásának antagonizálásában, mint a (–)deprenyl. Ezért nagy reményekkel nézünk e vegyület jövője elé, mely mindazt, ami a (–)deprenyl-hatás lényege, szelektívebben és hatékonyabban feje ki, mint a (–)deprenyl.

A (–)deprenylnak ma stabil helye van a Parkinson-kór kezelésében. Bizonyított már, hogy csökkenti Alzheimer-kórban a betegség progresszióját. Bizonyított, hogy klinikailag értékesíthető antidepresszív hatása van. Mindazonáltal az 1980-as évek eleje óta támasztom alá kutatásaimmal, hogy a (–)deprenyl valódi helye az orvoslásban az agyi katecholaminerg, mindenekelőtt dopaminerg rendszer korfüggő hanyatlásának lassítása, mely kis adag (napi 1 mg) tartós adagolásával mellékhatás-mentesen elérhető. A nigrostriális dopaminerg neuronoknak a 45. életév után megindul különösen gyors, korfüggő hanyatlása primer szerepet játszik az időskori életminőség romlásában. CAE-hatású anyagok biztonságos, kicsiny dózisának állandó, profilaktikus célból történő szedésével az agyi katecholaminerg neuronok magasabb aktivitási szinten tarthatók, anélkül, hogy a fiziológiai egyensúlyt megbontanánk. Ennek eredményeként várhatóan lassul a szexuális és tanulási funkciók korfüggő hanyatlása, javulhat az életminőség, és végső eredményként kitolódhat a természetes halál időpontja, és jelentősen csökkenhet az öregkori depresszió, valamint a két legveszélyesebb korfüggő neurológiai megbetegedés, a Parkinson-kór és az Alzheimer-kór manifesztálódásának esélye (összefoglalásként lásd: 9).

Irodalom

1. Knoll, J., Ecseri, Z., Kelemen, K., Nievel, J., Knoll, B.: Phenylisopropyl-methylpropinylamine. HCl (E-250) egy új hatásspektrumú pszichoenergetikum. *MTA V. Oszt. Közleményei*, 15 (1964) 231–238.
2. Knoll, J., Ecseri, Z., Kelemen, K., Nievel, J., Knoll, B.: Phenylisopropylmethyl propinylamine (E-250) a new psychic energizer. *Arch. int. Pharmacodyn. Thér.*, 155 (1965) 154–164.
3. Tetrud, J. W., Langston, J. W.: The effect of (–)deprenyl (selegiline) on the natural history of Parkinson's disease. *Science*, 245 (1989), 519–522.
4. Parkinson Study Group: Effect of (–)deprenyl on the progression disability in early Parkinson's disease. *New Engl. J. Med.*, 321 (1989) 1364–1371.
5. Allain, H., Gougnard, J., Naukirek, H. C.: Selegiline in de novo parkinsonian patients: the French selegiline multicenter trial (FSMP). *Acta Neurol Scand.*, 136 (1991) 73–78.
6. Myttila, V. V., Sotaniemi, K. A., Vourinen, J. A., Heinonen, E. H.: Selegiline as initial treatment in de novo parkinsonian patients. *Neurology*, 42 (1992) 339–343.
7. Palhagen, S., et al., and the Swedish Parkinson Study Group: Selegiline delays the onset of disability in de novo parkinsonian patients. *Neurology*, 51 (1998) 520–525.
8. Sano, M., Ernesto, C., Thomas, R. G., Klauber, M. R., Schafer, K., Grundman, M., Woodbury, P., Growdon, J., Cotman, C. W., Pfeiffer, E., Schneider, L. S., Thal, L. J.: A controlled trial of selegiline, alpha-tocopherol, or both as treatment for Alzheimer's disease. *New Engl. J. Med.*, 336 (1997) 1216–1222.
9. Knoll, J.: (–)Deprenyl (Selegiline) a catecholaminergic activity enhancer (CAE) substance acting in the brain. *Pharm. Toxicol.*, 82 (1998) 57–66.
10. Knoll, J., Miklya, I., Knoll, B., Markó R., Kelemen, K.: (–)Deprenyl and (–)1-phenyl-2-propylaminopentane, [(–)PPAP], act primarily as potent stimulants of action potential – transmitter release coupling in the catecholaminergic neurons. *Life Sci.*, 58 (1996), 817–827.
11. Knoll, J., Miklya, I., Knoll, B., Markó, R., Rácz, D.: Phenylethylamine and tyramine are mixed-acting sympathomimetic amines in the brain. *Life Sci.*, 58 (1996) 2101–2114.
12. Knoll, J., Magyar, K.: Some puzzling pharmacological effects of monoamine oxidase inhibitors. *Adv. Biochem. Psychopharmacol.*, 5 (1972) 393–408. This Week's Citation Classic, January 15, 1982.
13. Knoll, J., Knoll, B., Török, Z., Timár, J., Yasar, S.: The pharmacology of 1-phenyl-2-propylaminopentane (PPAP), a deprenyl-derived new spectrum psychostimulant. *Arch. int. Pharmacodyn. Thér.*, 316 (1992) 5–29.
14. Knoll, J.: Memories of my 45 years in research. *Pharm. Toxicol.*, 75 (1994) 65–72.

Capsaicin és a nociceptív primer afferens neuronok farmakológiája

A vegetatív neurotransmissziós folyamatokra szelektíven ható szerek hatásmechanizmusának feltárása az elmúlt évszázad folyamán jelentős fiziológiai felfedezésekhez vezetett, és a gyógyszeres terápia egyik igen gazdag forrásává vált. Ezzel szemben a „szenzoros neuronok farmakológiája” vagy „nociceptorokon ható analgetikumok” című fejezet még hiányzik a nemzetközi farmakológiai kézikönyvekből. A capsaicin hatásainak felfedezése és elemzése volt az első olyan molekuláris mechanizmus, amelynek segítségével peptiderg nociceptív afferensek szelektív blokkolása révén e téren is megindultak a kutatások. A capsaicin a paprika csípő anyaga, melynek farmakológiájáról az első közleményt Hőgyes Endre még a múlt században közölte (1). A további elméleti kutatások kiindulópontja Jancsó Miklós felfedezése volt a „capsaicin deszenzibilizáció” hatásról. Kimutatta ugyanis, hogy ha egeret, patkányt vagy tengerimalacot capsaicin nagy dózisaival előkezel, az állat érzéketlenné válik kémiai anyagokkal szemben, míg a fizikai ingerek továbbra is hatásosak maradnak. A capsaicin és más irritánsok a deszenzibilizált állatokban gyulladást se váltanak ki. Ez a megfigyelés vezetett a neurogén gyulladás felfedezéséhez (2). A capsaicinnel kapcsolatos kutatási irány magyar indíttatása nemzetközileg elismert (3–5).

A *Capsaicin-sensitive chemoceptive neural system with dual sensory-effent function* című összefoglaló közleményemben (6) több mint tíz évvel ezelőtt megfogalmazott koncepció képezte a Pécsi Orvostudományi Egyetem Neurofarmakológiai Kutatócsoport témájának kiindulópontját. A „capsaicin-sensitive” megjelöléssel a primer afferens neuronok első farmakológiai klasszifikációját vezettük be. Egyrost-elvezetéssel sikerült ugyanis bizonyítanunk, hogy a capsaicin fiziológiai paraméterekkel jellemzett afferenseknek egyik csoportját izgatja és deszenzibilizálja természetes ingereivel szemben, míg a mechanoreceptorokon ilyen hatása nem volt. Az anyag szelektív támadáspontjának további bizonyítása révén a szenzoros neuronok capsaicin-érzékenységen alapuló osztályozása az 1980-as évek közepétől általánosan használt fogalommmá vált (3–5). Az utóbbi évek patch clamp és receptorkötődési vizsgálata, melyhez egy új, a capsaicinnél 100–1000-

szer hatásosabb, növényi eredetű irritánst (resiniferatoxin) is fel lehetett használni, a capsaicin kompetitív antagonistájának (capsazepin) előállítását, továbbá az általunk posztulált capsaicin receptor klónozása (7) teljesen új lehetőségeket nyitott a nociceptív afferens neuronok farmakológiájában. Kiderült ugyanis, hogy a capsaicin 6 transzmembrán doménnel rendelkező, szerpentin típusú VR-1 receptora olyan kationcsatorna, amely egyedülálló módon forró ingerekkel aktiválható („hot receptor”), és így az egyrost-vizsgálatok alapján kizárólag nociceptív funkciójú szenzoros neuronokban expresszálódik. A szenzoros receptoroknak ebbe a csoportjába tartoznak a C-polimodális nociceptorok, az A-delta polimodális nociceptorok és a lényegesen kisebb számú specifikus forró receptor (8).

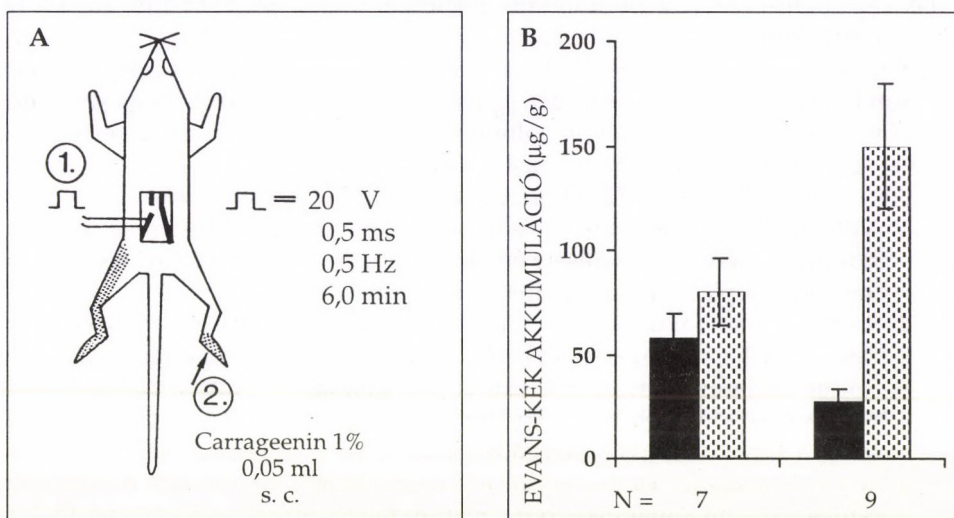
A capsaicin-érzékeny szenzoros neuronok a szomatoszenzoros afferentáció mintegy felét képezik, és jellegzetességük, hogy aktiválójuk nem csupán nociceptív és más szenzoros választ, hanem neuropeptid, úgymint tachykinin (P-anyag) és calcitonin génrokon peptid (CGRP) felszabadulását is eredményezi. Inger hatására különböző szervekben felszabaduló P-anyag és CGRP lokális „sensory-efferent” szöveti (simaizom-, gyulladásos, trofikus, szekréciós stb.) válaszokat vált ki (3, 5, 9, 10).

Az idegszabályozás általános alapelve, hogy az érzőreceptorok ingerfelvétellel specializálódott idegvégződés, melyeknek az a funkcionális szerepe, hogy információt közvetítsenek axonális vezetés útján a központi idegrendszerhez vagy valamely perifériás idegszabályozási körhöz. E koncepció szerint a perifériás idegrendszer afferens és efferens idegelemei még az axonreflex esetében is különböznek. Így pl. vegetatív idegelemek prejunkcionális receptorainak farmakológiai módosítása révén nem lehet afferens információt közvetíteni a központi idegrendszerbe. Ezzel az „ortodox” modellel szemben funkcionális farmakológiai vizsgálatok arra engedtek következtetni, hogy a capsaicin-érzékeny érzőreceptorokból szabadulnak fel a neuropeptidok, és – a Lewis-féle axonreflex-teóriától eltérően – nem valamely effektor működésre specializált idegvégződésből (9, 10).

A két és fél éve három munkatárssal újonnan alakult MTA tanszéki kutatócsoport keretében radioimmunoassay (RIA) -laboratórium felállításához sikerült biztosítani a minimális személyi feltételt, és korszerű mikroelektrofiziológiai laboratórium felszereléséhez OMFB- és MKM-pályázatokból beszerzett epifluoreszcens/infravörös/Nomarski-fénymikroszkópot állítottunk be. Együttműködés alakult ki Kéri Györggyel és a SOTE-MTA-EKSZ. I. Biokémiai Intézetével új fájdalomcsillapító-gyulladásgátló hatású nociceptív szenzoros neuronokra ható szerek előállítása céljából (szabadalmi bejelentés), továbbá Seress Lászlóval, a POTE Élettani Intézete MTA Neurofiziológiai Kutatócsoport munkatársával a capsaicin tartós szenzoros blokkoló-neurotoxikus hatásainak morfológiai vizsgálata céljából. A műszeres háttér biztosításáért köszönet illeti az MTA KOKI elektronmikroszkópos laboratóriumát és a POTE Anatómiai Intézetének OTKA műszerközponti támogatással beszerzett image analyserét működtető munkatársait.

A capsaicin-érzékeny érzőreceptorok efferens funkciójáról az elmúlt támogatási ciklusban meglepő eredményeket kaptunk. Az antidrómos vazodilatáció, neurogén gyulladás és a korábban leírt capsaicin-érzékeny szenzoros-effektor

peptiderg simaizom-válaszok közös jellemzője, hogy lokálisan a felszabadulás helyén jönnek létre, és a hatásban tachykininek és CGRP szerepét sikerült bizonyítani (3–6, 9, 10). Új eredmény, hogy a capsaicin-érzékeny érzőreceptorokból szomatosztatin-felszabadulás testszerte gyulladásgátló hatást is kifejt (12–14). Tudomásom szerint nincs arra adat, hogy érzőreceptorokból felszabaduló mediátor szisztémás endokrin típusú hatást váltana ki magasabb rendű állatokban. Ezért ezt az eretnek vagy „unortodox” (9) teóriát célszerűnek látszott több kísérletes paradigmában alátámasztani. Az eddig kapott eredmények az alábbiakban foglalhatók össze.



1. ábra. A: Kísérleti elrendezés gerincvelői hátsógyökerek antidrómós ingerlésével kiváltott szisztémás gyulladásgátló hatás kiváltására. B: Plazmafehérjéhez kötődő Evans-kék extravazációja és akkumulációja a bal (fekete oszlopok) és jobb (pontosított oszlopok) hátsó láb bőrében az L_4 – L_6 -os hátsógyökerek ingerlése után (első két oszlop) és álműtött állatoknál (második oszloppár)

Altatott patkányokon az átvágott lumboszakrális gerincvelői hátsógyökerek perifériás csomójának antidrómós ingerlése (1. A. ábra) az innervációs területen plazmakiáramlással járó neurogén gyulladást vált ki (1. B. ábra, első fekete oszlop), és gátolja az ellenoldali láb talpába adott carrageenin gyulladáskeltő hatását (1. B. ábra, első pontosított oszlop). A kontrollcsoport (hátsógyökerek feltárása ingerlés nélkül) eredményeit az 1. B. ábra 3. és 4. oszlopa mutatja. Hasonlóképpen gátolja a hátsógyökerek unilaterális antidrómós ingerlése (5 Hz 5 min) az 5–20 perccel később kiváltott neurogén gyulladást, amit az ellenoldali lumboszakrális hátsógyökerek ingerlésével a lábon vagy capsaicin szembe cseppentésével hoztunk létre. Perineurális capsaicin-előkezelés után, amikor a capsaicin-érzékeny szenzoros rostok szelektív degenerációja jön létre, az antidrómós ingerlés nem vált ki szisztémás gyulladásgátló hatást (11). A jelenség guanethidinnel és

pipecuroniummal előkezelt patkányok átvágott n. ischiadicusának ingerlésével is kiváltható, és a gyulladásgátló hatást a lábízületben, tracheán, oesophagusban, mediastinumban és a conjunctiván egyaránt kimutattuk. Érdekes módon 0,1 Hz ingerlés nem vált ki plazmaextravazációt, mégis gátolja az ellenoldali lábon a carageeninnel kiváltott gyulladást (12). A n. ischiadicus és n. saphenus akut átvágása után a lábhat nociceptorainak kémiai ingerlése 1%-os mustárolajjal vagy capsaicinnel szintén kifejt mintegy 50%-os szisztémás gyulladásgátló hatást a kontroll- és adrenalectomizált patkányokon (13).

Ezen kísérleti elrendezéseknél a klasszikus reflexek szerepe kizárt, és a perifériás capsaicin-érzékeny polimodális nociceptorokból felszabaduló mediátor humorális úton fejt ki hatást. Korábban már ismert volt, hogy a capsaicin depletálja a szenzoros neuronokból a szomatosztatint, és i. a. adott szomatosztatin hatásosan gátolja a neurogén gyulladást. Így feltételeztük, hogy szomatosztatin szabadul fel az ingerelt polimodális nociceptorokból, és a keringésbe jutva, testszerte gyulladásgátló hatást fejt ki.

Az alábbi eredmények (12, 13) támasztották alá ezt a feltételezést:

1. A plazma-szomatosztatinszint a n. ischiadicus szenzoros rostjainak antidróm ingerlésére négyszeresére emelkedik, és mustárolaj alkalmazása után is emelkedik a plazma szomatosztatinszintje.
2. Szomatosztatin antiszérum i. v. adása után nem jön létre elektromos ingerléssel vagy kémiai ingerléssel kiváltott szisztémás gyulladásgátlás.
3. Szomatosztatin-depletáló cysteamin (280 mg/kg s. c.) adása után egyaránt hiányzik az idegingerléssel kiváltott plazma-szomatosztatinszint-emelkedés és a szisztémás gyulladásgátló hatás.
4. A szomatosztatin és szerkezeti analógjai hatásosan gátolják a neurogén gyulladást, ami annál inkább figyelemre méltó, mivel a cyclooxygenáz gátlók – mint a diclofenac vagy a meloxicam – a gyulladásnak ezt a formáját egyáltalán nem gátolják.

Külön említést érdemel az a megfigyelés, mely szerint a capsaicin-érzékeny polimodális nociceptorok antidróm ingerlése 0,1 Hz frekvenciánál nem vált ki lokális plazma-extravazációt, csak értágulatot, viszont hatékonyan gátolja a gyulladást. Humán érzőidegek polimodális nociceptorainak egyrost-ingerlése csak 0,5 Hz-nél magasabb frekvenciánál okoz fájdalomérzetet, és 0,1 Hz ingerlés fiziológias körülmények között nem érzékelhető. Így az afferenciának ez a mintegy 50%-át kitevő hányada küszöbingerek esetén lokális mikrocirkuláció-fokozódást (CGRP-felszabadulás) és szisztémás gyulladásgátló, endokrinszerű hatást (szomatosztatin-felszabadulás), és nem szenzoros hatást vált ki. Küszöb feletti ingerek esetén, amikor már fájdalomérzet jelentkezik, a P-anyag-felszabadulás következtében lokális gyulladásos válasz is kíséri a behatást. Ezt a klasszikus idegszabályozástól merőben eltérő teóriát két összefoglaló munkában (9, 10) írtam meg.

In vitro P-anyag, szomatosztatin- és CGRP-felszabadulás mérésével vizsgáltuk azt az elképzelést, hogy a szenzoros neuropeptidek szenzoros ingerek hatására (bradykinin, capsaicin) az érzőreceptorokból szabadulnak fel axonreflexek köz-

beiktatása nélkül. Kimutattuk, hogy izolált patkány-tracheából ingeranyagok hatására felszabaduló neuropeptidek egyike sem gátolható 25 mM lidocainnal vagy 1 μ M tetrodotoxinnal vagy 0,3 μ M omega conotoxin GVIA-val, annak ellenére, hogy az elektromos téringerléssel kiváltott peptidfelszabadulást ily módon teljesen blokkolni lehetett. Következésképpen feszültségfüggő Na^+ -csatornák, valamint N típusú feszültségfüggő Ca^{++} -csatorna és axonreflex tehát nem szükséges a capsaicin (10 nM – 1 μ M) és bradykinin (100 nM) által kiváltott szenzoros-effektor-válaszok mediátorainak felszabadulásához (14). Ezek az adatok cáfolják a capsaicin küszöbkoncentrációival kapott korábbi megfigyeléseket (5).

A szomatosztatinon kívül más támadáspontokon ható neuropeptidek capsaicin-érzékeny idegvégződéseken kifejtett gátló hatását is vizsgáltuk. Kimutattuk, hogy az ORL1 opioid receptoron ható, újonnan felfedezett neuropeptid, az orphanin/nociceptin gátlja a neurogén gyulladást és a mastocita deplécio útján kiváltott nem neurogén gyulladást, valamint a P-anyag, a CGRP és szomatosztatin felszabadulását a capsaicin-érzékeny idegvégződésekből (15, 16).

A capsaicin celluláris hatásainak vizsgálatához új kiindulópontot jelentett az az eredményünk, mely szerint patkányon újszülöttkori előkezelés után a korábbi kvalitatív adatoktól eltérően nem jön létre szignifikáns mértékben akut excitotoxikus sejtpusztulás. Öt nappal 50 mg/kg s. c. capsaicin adása után a trigeminus-dúc neuronjainak a száma nem különbözött a kontrollokétól, és a B típusú neuronok száma $18\,277 \pm 1322$ ($n = 6$) volt, míg a kontrolloké $19\,115 \pm 1344$ ($n = 4$). A B típusú neuronokban szelektív mitokondrium-duzzadás jött létre. Az előkezelés csak a 3. héten vezetett 39%-os szignifikáns sejtszámcsökkenéshez, viszont jelentős számú mitokondrium-károsodást mutató neuron volt megfigyelhető még a kezelés utáni 40. napon is. Az előkezelés után 1 nappal elkezdett $10 \times 100 \mu\text{g/kg}$ s. c. adott idegnövekedési faktor (NGF) kivédte az újszülöttkori capsaicin-előkezelés sejtpusztulást okozó hatását, de nem gátolta a több hétig tartó mitokondriális duzzadás kialakulását. Capsaicinnal előkezelt patkányok trigeminus-dúcából készült szeletből egysejt-elvezetés vagy ionáramok felvétele után a sejtek biocytin jelölése és elektronmikroszkópos vizsgálata alapján lehetőség nyílt a capsaicin hosszan tartó sejtkárosító és funkcionális blokkoló („deszenzibilizáló”) hatásának követésére. A capsaicin ionáramokra gyakorolt hatását a szatellita sejteket is tartalmazó szelettechnikával eddig még nem vizsgálták. A morfometriás és ultrastrukturális adatok alapján az újszülöttkori capsaicin-előkezelés után a késői sejtpusztulás nem apoptózis következtében jön létre, hanem NGF-hiányra vezethető vissza. Így feltehetően az újszülöttkori patkányokon az NGF felvételét biztosító idegvégződések elpusztulása váltja ki a sejtelhalást. A súlyos és szelektív mitokondrium-duzzadással járó folyamat ezért továbbvizsgálatra érdemes modellnek látszik a lassú sejtelhalás apoptosistól független mechanizmusának a vizsgálatára.

Irodalom

1. Högyes, A.: Beiträge zur physiologische Wirkung der Bestandteile des Capsicum annum. *Arch. exp. Pathol. Pharmacol.*, 9 (1878) 117–130.
2. Jancsó, N., Jancsó-Gábor, A., Szolcsányi, J.: Direct evidence for neurogenic inflammation and its prevention by denervation and by pretreatment with capsaicin. *Brit. J. Pharmacol.*, 31 (1967) 138–151.
3. Maggi, C. A.: Tachykinins and calcitonin gene-related peptide (CGRP) as cotransmitters released from peripheral endings of sensory nerves. *Prog. Neurobiol.*, 45 (1995) 1–98.
4. Holzer, P., Maggi, C. A.: Dissociation of dorsal root ganglion neurons into afferent and efferent-like neurons. *Neurosci.*, 86 (1998) 389–398.
5. Lundberg, J. M.: Pharmacology of cotransmission in the autonomic nervous system: integrative aspects on amines, neuropeptides, adenosine triphosphate, amino acids and nitric oxide. *Pharmacol. Rev.*, 48 (1996) 113–178.
6. Szolcsányi J.: Capsaicin-sensitive chemoceptive neural system with dual sensory-efferent function. In: *Antidromic Vasodilatation and Neurogenic Inflammation*. Chahl, L. A., Szolcsányi J., Lembeck, F. (eds.), Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984. 27–55.
7. Caterina, M. J., Schumacher, M. A., Tominaga, M., Rosen, T., Levine, J. D., Julius, D.: The capsaicin receptor: a heat-activated ion channel in the pain pathway. *Nature*, 389 (1997) 816–824.
8. Szolcsányi, J.: Actions of capsaicin on sensory receptors. In: J. N. Wood (ed.): *Capsaicin in the Study of Pain*. Academic Press, London, 1993. 1–26.
9. Szolcsányi, J.: Capsaicin-sensitive sensory nerve terminals with local and systemic efferent functions: facts and scopes of an unorthodox neuroregulatory mechanism. *Prog. Brain Res.*, 112 (1996) 343–359.
10. Szolcsányi, J.: Neurogenic inflammation: reevaluation of axon reflex theory. In: *Neurogenic Inflammation*. P. Geppetti and P. Holzer (eds.) CRC Press, 1996. Boca Raton, Florida, 35–44.
11. Pintér, E., Szolcsányi, J.: Systemic anti-inflammatory effect induced by antidromic stimulation of the dorsal roots in the rat. *Neuroscience Letters*, 212 (1996) 33–36.
12. Szolcsányi, J., Helyes, Zs., Oroszi, G., Németh, J., Pintér, E.: Release of somatostatin and its role in the mediation of the anti-inflammatory effect induced by antidromic stimulation of sensory fibres of rat sciatic nerve. *Br. J. Pharmacol.*, 123 (1998) 936–942.
13. Szolcsányi, J., Pintér, E., Helyes, Zs., Oroszi, G., Németh, J.: Systemic anti-inflammatory effect induced by counter-irritation through a local release of somatostatin from nociceptors. *Br. J. Pharmacol.*, 125 (1998) 916–922.
14. Szolcsányi, J., Németh, J., Oroszi, G., Helyes, Zs., Pintér, E.: Effect of capsaicin and resiniferatoxin on the release of sensory neuropeptides in the rat isolated trachea. *Brit. J. Pharmacol.*, 124 (1998) 89.
15. Helyes, Zs., Németh, J., Pintér, E., Szolcsányi, J.: Inhibition by nociceptin of neurogenic inflammation and the release of SP and CGRP from sensory nerve terminals. *Br. J. Pharmacol.*, 121 (1997) 613–615.
16. Németh, J., Helyes, Zs., Oroszi, G., Thán, M., Pintér, E., Szolcsányi, J.: Inhibition of nociceptin on sensory neuropeptide release and mast cell-mediated plasma extravasation in rats. *Eur. J. Pharmacol.*, 347 (1998) 101–104.

TRÓN LAJOS

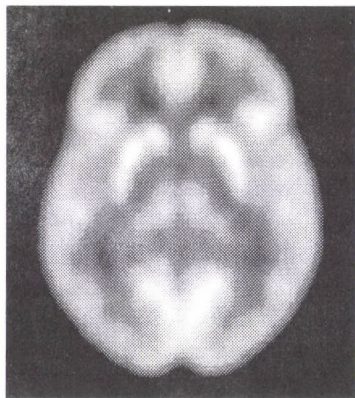
Funkcionális agyi vizsgálatok pozitronemissziós tomográfiával

A pozitronemissziós tomográfia (PET) viszonylag új képalkotó eljárás, amelynek a segítségével az élő rendszerek működéséről lehet információhoz jutni. E vizsgálómódszert a computertomográfiás (CT) és a mágneses rezonanciás (MRI) képalkotó eljárástól alapvetően megkülönbözteti, hogy míg az utóbbi két technika nem vagy csak limitált mértékben szolgáltat funkcionális információt, a PET lehetővé teszi a szöveti biokémiai folyamatok tanulmányozását. A módszer érzékenysége meghaladja a hagyományos képalkotó eljárások érzékenységét, de felbontóképessége elmarad a CT-é és az MRI-é mögött. A funkció vizsgálata azon alapul, hogy olyan molekulákat (farmakon) juttatunk a vizsgált szervezetbe, amelyek részt vesznek valamilyen anyagcsere-folyamatban.

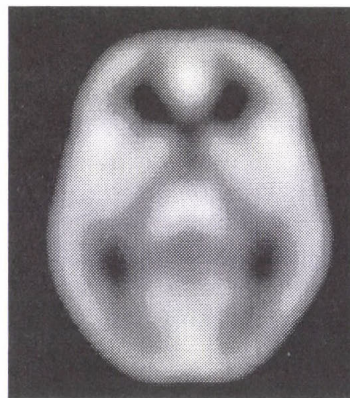
Az intravénás módon bejuttatott farmakonmolekulákat a véráram eljuttatja a szervezet különböző szöveti régióiba, ahol az ott lezajló anyagcsere-folyamatok eredményeképpen ezek a molekulák kémiai változáson mehetnek keresztül (pl. enzimek hatására), facilitált diffúzió segítségével bejuthatnak a szöveti sejtekbe, de előfordulhat az is, hogy a molekulák különböző, sejtfelszíni specifikus kötőhelyekhez kapcsolódnak. A felsorolt esetek mindegyikében kialakul bizonyos idő elteltével egy egyensúlyi eloszlás, amely természetes módon függ attól, hogy milyen a különböző szöveti régióknak a vérrellátása, milyen a farmakon szempontjából kitüntetett anyagcsere-folyamatoknak a szervezeten belüli (háromdimenziós) eloszlása, valamint attól is, hogy e folyamatoknak hogyan változik pontról pontra az intenzitása. E feltételek az élő szervezet különböző funkcionális állapotokban kisebb-nagyobb mértékben megváltozhatnak, ami a kiválasztott farmakonnak – egy referenciaállapothoz viszonyítva – megváltozott háromdimenziós eloszlásában manifesztálódhat. Ennek megfelelően a farmakonok szervezeten belüli eloszlása és a funkcionális állapot között sajátos kapcsolat van, ezért az egyensúlyi farmakon-eloszlásból sok esetben következtetni lehet az élő szervezet funkcionális állapotára. A farmakonok eloszlásának meghatározásához ezeket a molekulákat pozitronbomló radioaktív izotópokkal szokás megjelölni. A jelölt farmakonok (radiofarmakonok) eloszlását a tanulmányozott rendszert

gyűrűszerűen körülvéő detektor-elrendezés segítségével lehet meghatározni. A háromdimenziós radiofarmakon-eloszlásnak a számítógépben tárolt jelekből történő rekonstrukciójához speciális szoftverek állnak rendelkezésre.

A PET-vizsgálatok során leggyakrabban felhasznált radiofarmakonok segítségével tanulmányozni lehet a glukóanyagcsere (F^{18} -jelölt dezoxiglukóz – FDG – segítségével), a fehérje-anyagcsere (pl. C^{11} -izotóppal jelölt metioninmolekulákkal), a zsírsavanyagcsere stb. jellemzőit. Hasonlóképpen tanulmányozható, hogy meghatározott receptorok sejtfelszíni expressziója milyen mértékű a különböző szöveti régiókban. A sejtfelszíni ligandspecifikus receptorokon kívül természetesen egyéb specifikus kötőhelyek feltérképezése is megoldható, ha rendelkezésre állnak a megfelelő ligandok. Ilyen módon tanulmányozták pl. jelölt deprenil tracer felhasználásával a monoamin-oxidáz enzim szöveti eloszlását (a deprenil az enzim irreverzibilis inhibitora, kovalens módon kötődik az enzim-molekulához). Szöveti biokémiai reakciókban részt nem vevő, a szöveti kompartmentek között szabadon közlekedő vegyületek (mint pl. a butanol) segítségével ugyanakkor éppen az egyensúlyi eloszlást kialakító véráramlási viszonyokról (perfúzióról) alkothatunk képet. A PET-vizsgálatok időskáláját alapvetően az határozza meg, hogy az alkalmazott radiofarmakon esetén mennyi idő alatt alakul ki az előzőekben említett egyensúlyi eloszlás. Ehhez FDG esetén mintegy 30 percre, perfúziós tracerek esetén 1 percnél rövidebb időre van szükség.



A



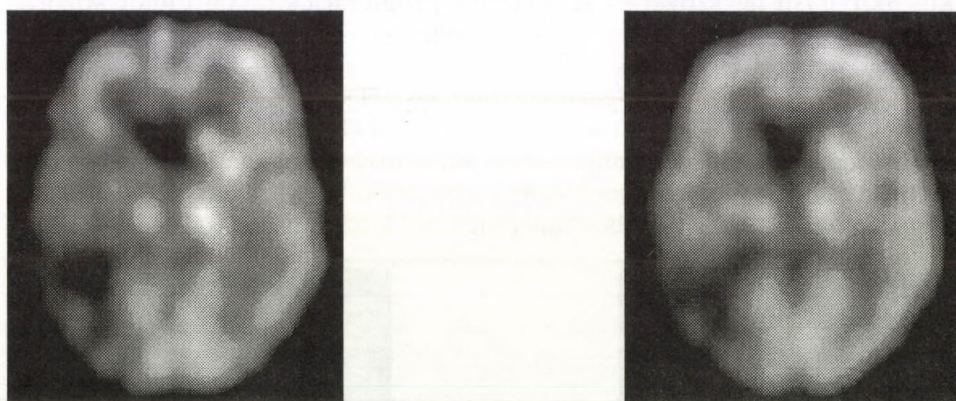
B

1. ábra. Egészséges kontrollszemély FDG-vel (A), ill. butanollal (B) végzett agyi vizsgálata. Mindkét felvétel a törzsdúcok síkjában meghatározott radiofarmakon-eloszlást mutatja be

Az 1. ábrán ugyanazon személy FDG-vel és butanollal végzett agyvizsgálatának eredményei láthatók. Szürke színskálán ábrázoltuk mindkét akkumulációs mintázatot, olyan módon, hogy a nagyobb mértékű akkumulációt világosabb, a kisebb mértékű akkumulációt pedig sötétebb tónusok kódolják (a butanosok képek rossz jel/zaj aránya miatt a perfúziós mintázatokat általában „szűrés”, azaz

bizonyos mértékű térbeli átlagolás után jelenítik meg, ami rontja a felbontóképességet – az összehasonlíthatóság kedvéért az 1. ábra mindkét paneljén azonos szűrést alkalmaztunk). A két felvétel az agy ugyanazon metszetéről készült, ezek összehasonlítása azt mutatja, hogy a két farmakon segítségével nyert akkumulációs mintázat között elég szoros korreláció van. A jelenség magyarázata, hogy az intenzívebb glukóz-anyagcserével jellemezhető régiókban a nagyobb mértékű glukóz-felvételhez fokozottabb vérrellátás is szükséges. Ezt a korrelációt több körkép esetén és számos speciális esetben meggyőző módon igazolták.

A 2. ábrán arra mutatunk be példát, hogy az egészséges személyek vizsgálatánál nyert szimmetrikus FDG-eloszlásban (1. ábra) milyen változások következhetnek be meghatározott kóros állapotok eredményeképpen. Az FDG-eloszlás jól demonstrálja például, hogy agyvérzést követően milyen nagymértékű lehet az érintett szövetek glukózanyagcsere-intenzitásának csökkenése. A 3. ábra arra mutat be egy példát, hogy az FDG-PET-vizsgálatok a tumordiagnosztikában is felhasználhatók. Ennek az az alapja, hogy a neopláziás szövetekben (elsősorban agresszív tumorok esetén) a nagy ploriferációs ráta miatt jelentős módon megnő a glukózigény, következésképpen a fokozott tracerdúsulás alapján az intenzíven osztódó tumorsejtek jelenléte nagy érzékenységgel kimutatható.

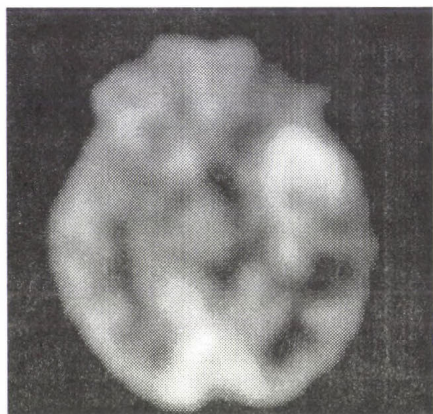


A

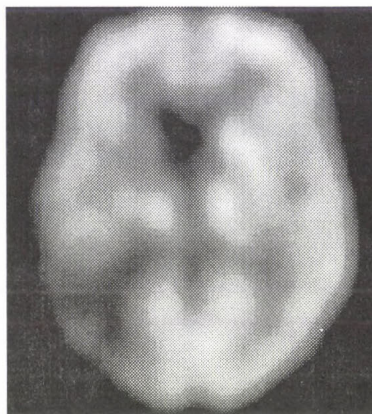
B

2. ábra. A bal oldali okcipitális lebeny nagy részét érintő agyi infarktus FDG-vel (A), ill. butanollal (B) végzett vizsgálata

Az osztódó sejteket tartalmazó szöveti régiók kimutathatóságának határát több tényező együttesen határozza meg. Csökken az érzékenység, ha a tumorsejtek glukóz-anyagcseréje viszonylag alacsony intenzitású. Az ilyen, ún. alacsony malignitású tumorok kimutatása különösen nehéz olyan szövetekben (pl. agyszövet), amelyek fizioiogiás körülmények között is nagymértékben halmozják a glukózanalóg FDG-t. A 4. ábrán bemutatott agyi FDG-felvétel a temporális lebenyben egy kifejezett hipometabolikus terület látható abban a régióban, ahol a vizsgálat előtt 2 évvel agyműtétet hajtottak végre. A recidivára utaló klinikai tü-



A

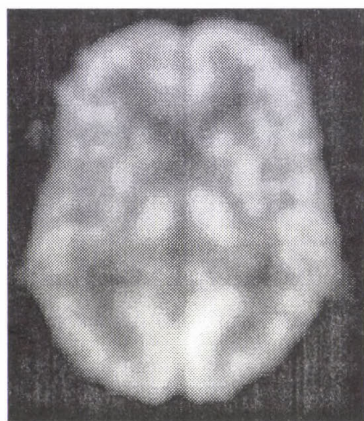


B

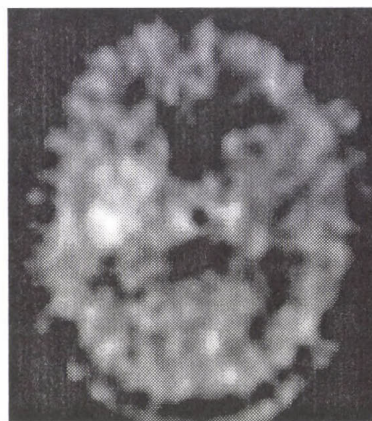
3. ábra. Recidív glioblasztóma FDG-PET-vizsgálata. Transzaxiális metszetek a mezencefalon és a törzsdúcok magasságában

netek miatt elvégzett FDG-vizsgálat nem tudott különbséget tenni a kis metabolikus aktivitású hegszövet és az alacsony proliferációs rátájú tumor között, ugyanakkor a C^{11} -metionin-vizsgálat egyértelműen jelezte a tumorágyban kialakuló recidívát.

Az 5. ábra epilepsziás betegeken végzett agyi FDG-PET-vizsgálatok eredményeit mutatja be. Az 5. A ábrán (a normális kontroll FDG-mintázattal összevetve) szembevetendő, hogy a bal temporális lebeny inzularis és operkuláris kérgének régiójában egy erősen hipometabolikus terület rajzolódik ki. Ezen hipometabolikus terület a rohamok közötti időben (interiktálisan) készült vizsgálat esetében a kli-

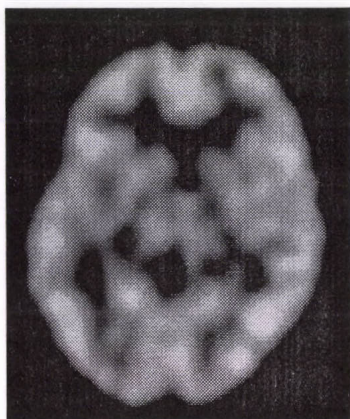


A

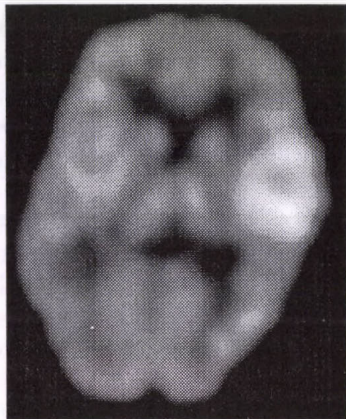


B

4. ábra. Alacsony malignitású asztrocitómáról készített FDG- (A), valamint metionin- (B) vizsgálat. A bal temporális lebenyben FDG-vel hipometabolikusnak ábrázolódó régió jelentős mértékben halmozza a metionint



A



B

5. ábra. Különböző epilepsziás betegek interiktális (A) és iktális (B) vizsgálata FDG radiofarmakonnal. Az epileptogén fókus az interiktális felvételen hipometabolikus, az iktális felvételen hipermetabolikus régió formájában rajzolódik ki a bal, ill. a jobb temporális lebenyben

nikai tapasztalatok alapján megfelelő az epileptogén areának, amelynek gátlási sajátosságai a fiziológiástól eltérőek. Az ilyen vizsgálatok tanulsága szerint a pozitronemissziós tomográfiás technika alkalmas az epileptogén fókus lokalizációjára. Az epileptogén góc keresésére irányuló PET-vizsgálatok technikai kötöttségek miatt szinte minden esetben interiktálisan történnek. Az 5. B ábrán egy iktális vizsgálat eredményeit mutatjuk be. A bemutatott képek különböző vizsgálati személyeken elvégzett mérések eredményeit szemléltetik annak demonstrálására, hogy az interiktálisan hipometabolikus sajátosságokat mutató epileptogén fókus a rohamok ideje alatt fokozott glukózyanyagcsere-intenzitást mutat.

A diagnosztikai célú alkalmazások mellett számos lehetőség van a PET-technikának a kutatómunkában való felhasználására is. Az ilyen alkalmazások egy jelentős köre az ún. agyaktiválási vizsgálatokat foglalja magában, amelyek segítségével meghatározott mentális funkciók vagy egyéb központi idegrendszeri tevékenységek során aktiválódó agyi struktúrákat lehet azonosítani. A funkcionális állapot jellemzésére elméletileg az agyi glukóz-anyagcsere térbeli eloszlásának a mérése is alkalmazható. Az alkalmazásnak az az alapja, hogy a funkcióban szerepet játszó agyi régiók neuronjai fokozottan aktivált állapotban vannak, ami az akciós potenciálok igen gyakori generálásában manifesztálódik. Minden egyes akciós potenciál tranziens kálium- és nátrium-ionáramok megjelenésével jár együtt, amelyek az intracelluláris ionkoncentrációk kismértékű eltolódását eredményezik. Az akciós potenciálok gyakori megjelenése az intracelluláris ionmilió jelentős megváltozásához vezetne, ha speciális kompenzációs mechanizmusok ezt nem akadályoznák meg. Az ionkoncentrációk visszaállítása energiaigényes folyamat, így az aktivációs mintázat a glukózfelhasználás háromdimenziós vizsgálatával jól jellemezhető.

Az agyi funkcionális állapotok strukturális lokalizációjának tanulmányozásához az FDG-PET-technika mint módszer elvileg alkalmazható, mint azt az előzőkben kifejtettük. Az elvi lehetőség gyakorlati alkalmazása ellen szól azonban az FDG-ekvilibrálódás félórás időigénye, hiszen az alkalmazott protokollok olyan időskálán kell hogy rögzítsék a tanulmányozott agyi funkcionális állapotot, amely összemérhető az állapotot karakterizáló egyensúlyi radiofarmakon-eloszlás kialakulásához szükséges idővel. Ez a legtöbb esetben kizáró érv, hiszen jól definiált funkcionális állapotokat félórás időskálán igen nehézkes lenne stabilizálni. Ugyanakkor megfigyelték, hogy számos esetben szoros korreláció van az agyi struktúrák FDG-akkumulációja, valamint a szöveti perfúzió mértéke között. Az összefüggésnek minden bizonnyal az a magyarázata, hogy a fokozott szöveti glukózfelhasználáshoz a glukózt el kell juttatni a megfelelő helyre. Ennek biztosítására az agyszövetben nagyon gyors reagálást lehetővé tevő mechanizmusok működnek, melyek a lokális metabolit-felhalmozódásra (fokozott glukóz-anyagcsere) vazodilatációval és így perfúzió-növekedéssel válaszolnak. E szoros korreláció megeremti annak a lehetőségét, hogy az 1 perces időskálán ekvilibrálódó perfúziós tracer molekulák alkalmazásával viszonylag könnyen el lehessen végezni az agyaktiválásos vizsgálatokat.

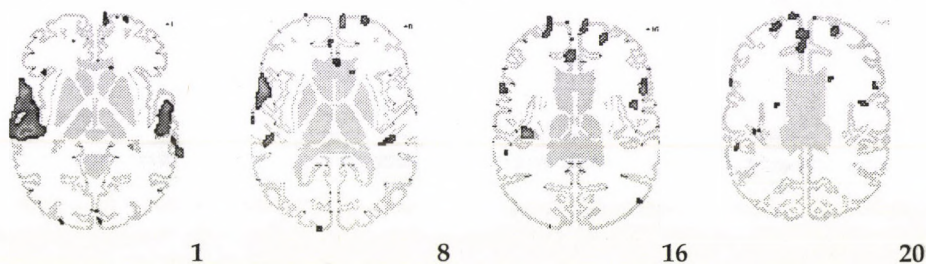
Az agyaktiválásos kísérletek során egy-egy funkcionális állapothoz rendelt perfúziós mintázatot a nyugalmi állapot mint referenciaállapot perfúziós viszonyaihoz kell hasonlítani, és a különbségkép tekinthető az aktivált állapot agyi lokalizációjaként. Az összehasonlításhoz azonban távolról sem elegendő az aktivált, illetve a referenciaállapotokban kivitelezett egy-egy perfúziós szkennelés, hiszen a perfúziós vizsgálatok eredményét megjelenítő képeknek nagyon rossz a jel/zaj viszonya. Az aktiváció tényét speciális statisztikai módszer (SPM: statistical parametric mapping) segítségével képelemenként lehet megvizsgálni.

Az SPM-módszer alkalmazásához legalább 15–15 perfúziós mérést kell elvégezni a nyugalmi és az aktivált állapotokban külön-külön. A méréseredményekből minden képelem perfúziójára két-két, 15 elemből álló adathalmazt lehet képezni. Ezen adathalmazoknak az SPM statisztikai módszer segítségével való összehasonlítása alapján képelemenként meg lehet állapítani azt, hogy az aktivált állapotban tapasztalható perfúzió mértéke szignifikáns módon különbözik-e ugyanazon képelem nyugalmi perfúziójától. Tetszőlegesen megválasztható szignifikancia-szinthez megjeleníthetők azon képelemek (parametrikus kép), amelyek esetén az eltérés szignifikáns. A (kérgi és kéreg alatti) szürkeállományba lokalizálható, több képelemet tartalmazó, összefüggő, fokozott perfúzióval jellemzett háromdimenziós agyi struktúrákat lehet aktivált régiókként tekinteni.

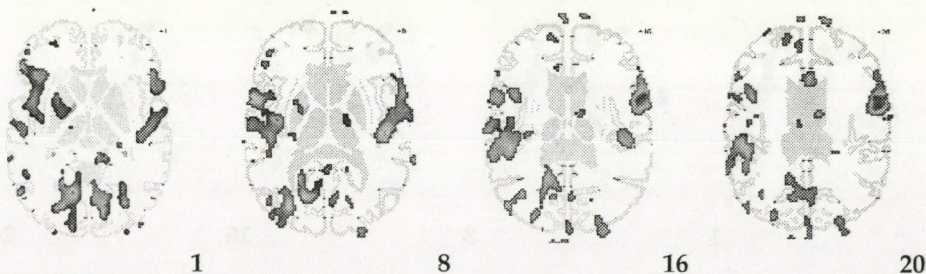
Ismert dolog az, hogy a beszédközpont általában lateralizált, jobbkezeseknél a domináns bal hemiszfériumban található. Vizsgálatainkban arra a kérdésre kerestünk választ, hogy ez a bal oldali lokalizáció változatlan formában megtalálható-e olyan esetekben is, amelyekben a beszédközpont szokásos kialakulását megzavarhatta az azt megelőző, kora gyermekkori epilepsziás kórkép. A 6. ábrán bemutatjuk egy egészséges kontrollszemély beszédközpontjának lokalizálására irányuló kísérleteink eredményét. Az agyi aktivációk látható módon bal oldali

dominanciával jelennek meg, a jobb oldalon elhelyezkedő aktivációk kiterjedése és a perfúzió-növekedés szignifikanciája messze alatta marad az ellenoldalinak. Az ábrán megjelölt lokalizációk azon képelemek összességét mutatják be, amelyeknek a beszéd közbeni perfúziója szignifikáns módon meghaladja a nyugalmi állapotban mérhető értéket, így ezen pontok összessége képezi a beszédközpontnak megfeleltethető kérgi terület komponenseit (temporális lebeny).

Hasonló vizsgálatokat végeztünk olyan személyeken, akiknek anamnézisében kora gyermekkori epilepszia szerepel. A 7. ábrán bemutatott aktivációs mintázatot a kontrollszemély vizsgálatával nyert mintázattal összehasonlítva szembeötlő, hogy ez a mintázat a bal oldali dominancia helyett jobb oldali dominanciát mutat. A 6. és 7. ábrákon bemutatott képek összehasonlításánál megállapítható, hogy az oldaliság megváltozása mellett az epilepsziás kórképhez tartozó, beszéd közbeni aktivációk jelentős mértékben eltolódnak az okcipitális kéreg és a vertex irányában. Felvetődik a kérdés, hogy milyen interakció lehet a tapasztalt aktivációs átrendeződés hátterében. A lehetséges magyarázatok egyike a kóros sajátosságokat mutató régiók dimenziójának a rohamok alatti megnövekedésével



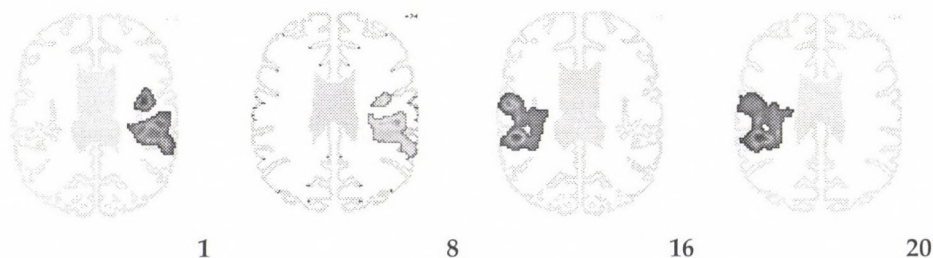
6. ábra. Egészséges kontrollszemély beszédképzését kísérő agyi aktivációknak butanollal vizsgált mintázata. A sötét tónussal ábrázolt aktivációs mintázatot a világos tónussal szemléltetett agyi struktúrákkal együtt jelenítettük meg. A metszeti képek mellé írt számok az AC-PC síktól mm-ben mért axiális távolságra utalnak. A metszeti képek bal oldala a vizsgálatban részt vevő személy bal oldalának felel meg



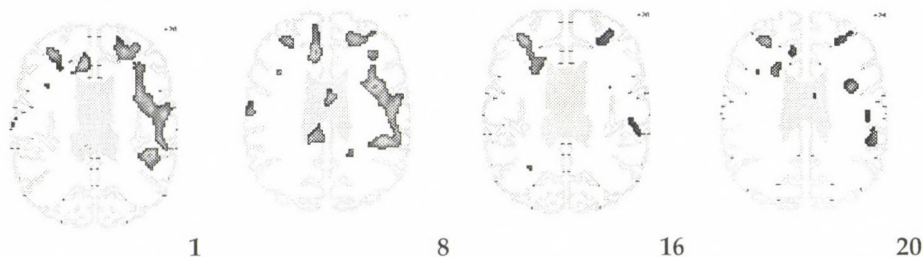
7. ábra. Beszédképzést kísérő agyi aktivációs mintázat. A vizsgálatban szereplő személy anamnézisében kora gyermekkori epilepszia szerepelt

lehet kapcsolatban, hiszen jelentős kiterjedésű patológiás hipermetabolizmus megzavarhatja speciális funkciókkal rendelkező agyi központok kialakulását. Nem lehet kizárni azonban azt sem, hogy az átrendeződés háttérében indirekt kölcsönhatások húzódnak meg, hiszen ebben az esetben az epileptogén fókuszt a temporális lebeny mélyebb régióiban, a talamusz közvetlen közelében volt lokalizálható, a talamuszról pedig ismert, hogy számos agyi régióval van speciális kölcsönhatásban.

A 8–9. ábrák vestibuláris lézióban szenvedő betegek vizsgálatával kapcsolatos eredményeinket mutatják be. A vestibuláris rendszer a térbeli orientációt szolgálja, komoly szerepe van az egyensúly megtartásában, és működésében fontos szerepet játszanak a szomatikus mechanoreceptorok, a belső fül félkörös ívjárataiban, ill. a tömlőcskében és a zsákocskában található módosult szőrsejtek, valamint a vizuális ingerek. Vestibuláris lézió esetén a beteg nem képes térben orientálódni, egyensúlyzavarok lépnek fel, és az akut fázisban általában igen erős vegetatív tünetek (pl. hányinger) is észlelhetők. A lézióval járó tünetek spontán rendeződnek, ami a panaszok megszűnésével jár. A vestibuláris rendszer fiziológiás és megváltozott működésének is van kérgi reprezentációja.



8. ábra. Jeges vízzel kiváltott vestibuláris ingerlés kérgi projekciója egészséges kontrollszemélyben. A metszeti képek mellé írt számok az AC-PC síktól mm-ben mért axiális távolságra utalnak. A bal oldali két kép bal oldali ingerlés, a jobb oldali két kép jobb oldali ingerlés hatását mutatja



9. ábra. Jeges vízzel kiváltott vestibuláris ingerlés kérgi projekciója akut vestibuláris lézióban szenvedő személyben. A bal oldali két kép bal oldali ingerlés, a jobb oldali két kép jobb oldali ingerlés hatását mutatja

Ismeretes, hogy a vesztibuláris rendszer szenzorait a külső hallójáratban alkalmazott jeges vizes stimulációval aktiválni lehet. A 8. ábrán bemutatott aktivációs minta szerint egészséges kontrollszemélyekben a bal oldali belső fül jeges vízzel történő stimulációja erős jobb oldali dominanciájú aktivációhoz vezet a temporális kéregben. A jobb és bal oldali jeges stimulációval kiváltott aktivációs minták egymásnak szinte tökéletes tükörképei. Több beteg akut vesztibuláris léziós fázisban való FDG-PET-vizsgálatában azt tapasztaltuk, hogy bal oldali jeges stimulációval ezen esetekben is ki lehet váltani jobb oldali aktivációt, de ezek az aktivációs mintázatok egészen más lokalizációt mutattak, mint egészséges kontrollszemélyek esetén. Feltűnő, hogy jobb oldali stimuláció esetén szinte semmilyen bal oldali aktiváció nem észlelhető. Az eredmények a következő módon összegezhetők. A sérült rendszerben bizonyos maradék aktivitás van, mert a bal oldali stimuláció esetén a stimuláció nélküli esethez képest aktivációk jelennek meg. A 9. ábra azt dokumentálja, hogy bár ezen aktiváció és az egészséges vizsgálati személyeken kiváltott aktivációk lokalizációja között sok az átfedés, ugyanakkor alapvetően más régiók aktivációja is megfigyelhető.

Több radiofarmakon felhasználásával végeztünk PET-vizsgálatokat egy olyan daganatos betegen, akinek kórtörténete 8 évet ölel fel. A betegen szenzoros tünetek jelentkeztek a 61 Gy dózisz, a nyaki gerinc tájékát is magában foglaló sugárterápiát követően 4 hónappal, és a terápia befejezése után 8 hónappal már motoros és vegetatív tünetek is felléptek. Egy év elteltével kulmináltak a tünetek, az egyik felső végtagon parézis, mindkét alsó végtagon plégia lépett fel. Ezt követően lassú javulás volt észlelhető. A PET-vizsgálatokat a 6–8. években végeztük, amikor a szenzoros tünetek már számottevő mértékben javultak, a felső végtagi parézis megszűnt, a paraplégia parézissé alakult, és a vegetatív tünetek is megszűntek.

Az FDG-vizsgálat során a besugárzott gerincszakaszban intenzív FDG-akkumulációt észleltük a gerincvelőnek megfelelően. Ez a jelentős tracer-felhalmozódás éles kontrasztot adott a terápia során sugárzásnak ki nem tett gerincrégió minimális glukóz-halmazásával összevetve. A lehetséges magyarázatok egyikét, ti. a sugársérülést követő regenerációs folyamatokat egyértelműen ki lehetett zárni a C^{11} -metioninnal végzett vizsgálat segítségével, mert az igen alacsony szintű fehérjeszintézis erős érv volt a proliferációs folyamatokkal szemben. A radiofarmakonokat rendhagyó módon halmozó gerincszakasz perfúziós vizsgálata szerint az FDG-t fokozott mértékben akkumuláló régió vérrellátása szignifikáns módon meghaladta az ionizáló sugárzás hatásának ki nem tett gerincszakasz perfúzióját.

A három különböző farmakonnal végzett vizsgálat eredményeinek a klinikai történetekkel összhangban való interpretálása során a sugársérült gerincszakaszban lejátszódó energiaigényes folyamatok közül az előzőekben említett okok miatt kizártuk a sejtzaporulattal járó regenerációs mechanizmusokat (esetleges remielinizációval kapcsolatos oligodendroglia-sejtek képződése, endothelium regenerációja stb.). Feltételeztük, hogy a klinikai tünetek hátterében demielinizáció is lejátszódott, ami a funkcionális deficitre magyarázattal szolgál. Hosszabb idő

óta ismeretes, hogy a mielinhüvelytől megfosztott axonok ingerületvezetése nagy mértékben romlik, az ilyen típusú sérülések az ingerületvezetés sebességének csökkenése után az esetek jelentős hányadában az axon irreverzibilis károsodáshoz és az ingerületvezetés végleges megszűnéséhez vezetnek. Néhány esetben megfigyelték az ingerületvezetési sajátosságok regenerálódását, ami a mielintől megfosztott axonszakaszok membránjában a Na-csatornák expressziójának növekedésével járt együtt. A Ranvier-csomók közötti szaltatorikus ingerületvezetés megszűnte miatti vezetéssebesség-csökkenést a Na-csatornáknak a demielinizált membránszakaszban való „upregulációja” kompenzálta. Ugyanakkor e csatornák nagyobb sűrűsége az akciós potenciálok terjedése során fokozott mértékű intracelluláris ionkoncentráció-eltolódásokat okozott, aminek a helyreállításához az ATP-dependens Na-K-pumpa fokozott működése szükséges, és így az érintett régiók energiaigénye megnövekedett.

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

JENDRASSIK GYÖRGY (1898-1954) EMLÉKÜLÉS

TERPLÁN ZÉNÓ

A Jendrassik-életpályája

Jendrassik György okleveles gépészmérnököt, a Ganz-gyár 1940-es évekbeli vezetőjét 1943. május 14-én, pontosan 55 éve, 45 éves korában választotta levelező tagjai közé a Magyar Tudományos Akadémia. Ezt a tényt az teszi még értékesebbé, hogy a tagságra őt az MTA Matematikai és Természettudományi Osztálya javasolta, hiszen annak idején mindössze három tudományos osztályra tagozódott az Akadémia, és a reáltudományokat a III. osztály fogta össze. További érdekesség: az Akadémia Jendrassik György addigi, Ganz-gyári tudományos és kísérleti eredményeit ismerte el anélkül, hogy Jendrassik rendelkezett volna doktori vagy más egyetemi tudományos címekkel.

Azokban az években a levelező taggá választás kizárólag tudományos elismerést jelentett, és véglegessé – úgy, mint jelenleg – azzal vált, ha elhangzott az akadémiai székfoglaló. Erre az iparban felelős vezető posztot betöltő Jendrassik Györgynek a keserves háborús, majd az azt követő, ugyancsak nehéz években egyszerűen nem volt ideje.

Ismert, hogy Jendrassik György egy 1947. május 4-én kezdődött hivatalos külföldi tárgyalásáról nem tért vissza, az emigrációt választotta, és végül Angliában telepedett le. Az MTA az 1949. évi átalakulása folyamán őt is kizárta tagjai közül. Az is köztudott, hogy az MTA 1989. évi közgyűlése – többekkel együtt és visszamenő hatállyal – rehabilitálta, vagyis helyreállította tagságának folyamatosságát.

Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya most úgy érezte, hogy illő kötelessége megemlékezni a 100 éve, 1898. május 13-án Budapest VIII. kerületében, a József utca 8. számú házban született akadémikusról, Jendrassik Györgyről.

A *Jendrassik család* arról nevezetes, hogy tagjai közül többen voltak akadémikusok, és az Akadémiai Kiadó gondozásában 1967-ben megjelent *Magyar életrajzi lexikon* köteteiben hét családtag neve is olvasható: több orvos, mérnök, művész, jogász, filozófus.

Jendrassik György mindössze 56 évet élt, 1954. február 7-én hunyt el váratlanul Londonban. Rövid életpályája a következőképpen alakult. Gyermekkoráról Loránd nevű bátyjának 1958-ban írt, 17 oldalas visszaemlékezéséből tudjuk, hogy

György játékos kedvű, élénk, következetes akaratú, céltudatos volt, szívesen bar-kácsolt, pl. az akkor divatos repülőgépmodelleket is készített.

A budapesti Horánszky utcai reálgimnáziumban érettségizett kitűnő minősítéssel, mint ahogy a József Műegyetemen 1922-ben is kitüntetéses gépészmérnöki oklevelet szerzett. 1916-ban – érettségi vizsgája után – behívták ugyan katonai szolgálatra, de betegsége miatt (amelynek eredetét hosszú időn át nem ismerték fel orvosai) leszerelték. Az azonnal megkezdett egyetemi tanulmányai közben, 1919/20-ban hazai ösztöndíjjal a berlin-charlottenburgi Technische Hochschule (ma Universität) előadásait látogatta, szabadidejében pedig az ottani Physikalische Gesellschaft ülésein meghallgatta *Albert Einstein*, *Walther Nernst* és *Max Planck* beszédeit, vitáit.

1922. június 26-án diplomázott, és augusztus 1-jén már a Ganz-gyár kutató-mérnöke a Tanulmányi Osztályon, amelyet éppen akkor létesítettek a vállalat új gyártmányszerkezetének kialakítására, annak megtervezésére és megvalósítására a trianoni Magyarország keservesen megváltozott gazdasági körülményei között.

Az 1920-as évek elején a Ganz-gyár és a Magyar Államvasutak (MÁV) együttes célja volt a MÁV mellékvonalain *motorvonattal* történő szállítás bevezetése a gazdaságtalan gőzvontatás helyett. Ez dízelmotorokkal látszott megoldhatónak a jobb hatásfok, az olcsóbb üzemanyag, a tisztább és tűzveszély nélküli üzem miatt. A dízelmotorokat azonban akkoriban a nagyobb teljesítményű, robusztus, stabil típusok irányába fejlesztették. Hiányoztak a járművontatásra alkalmas, kisebb teljesítményű, nagy fordulatszámú, könnyebb fajlagos súlyú egységek, habár a világ nagy gyáraiban titokban folytak ilyen kísérletek.

A fiatal Jendrassik, számos szerkezeti újítással, rövid idő alatt megoldotta a problémát. A Ganz-gyárral közösen, először 1924-ben bejelentett szabadalom 1927-ben valósult meg, amelyből azután rohamosan kifejlődtek a hazai és nemzetközi sikerű *Ganz-Jendrassik-motorok*. Jendrassik György másik nagy jelentőségű találmánya az 1929-ben szabadalmaztatott *gázturbinája* volt, amelynek első, kb. 75 kW-os kísérleti modelljét 1939 márciusában mutatta be a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet (MMÉE) gépészeti, gyáripari és elektrotechnikai szakosztályában, és itt számolt be a kedvező mérési eredményekről.

Ez a két találmány megalapozta Jendrassik tekintélyét itthon is, külföldön is. A Ganz-gyárban két évtized alatt a kutatómérnökből – gyorsan végighaladva a ranglétrán – 1939-ben már vezérigazgató-helyettes lett, 1942-ben pedig vezérigazgatónak választották. Gyakorlatilag öt évig állt a Ganz-gyár élén, a második világháború közepétől a gyár bombázásán, a kitelepítés veszélyén, a budapesti ostrom okozta tönkremenetelén és újjáépítésén át a jóvátételi termelés beindításáig és végül a vállalat államosításáig.

Sokat fáradt 1945-től a gyári termelés újraindításáért, a régebbi nemzetközi üzleti kapcsolatok felelevenítéséért, úgyhogy az 1946 végén végrehajtott államosítás után is ő maradt a vezérigazgató. Jellemző, hogy ebben a tisztségében tagja volt a háború utáni első, Moszkvában tárgyaló kormány- és gazdasági küldöttségnek.

Vezérigazgatósága öt esztendeje nem kedvezett addigi találmányai továbbfejlesztésének. Ezekben az években visszafejlődött a Ganz-Jendrassik-motorok gyártása, és gázturbina-kísérletei is abbamaradtak 1943 végére. A gázturbina-modellek az ostrom alatt nagyrészt tönkrementek. A fővárosi harcok során Jendrassik budai lakása bombatalálat áldozata lett. Ő a közeli japán követségen vészelte át családjával a további háborús megpróbáltatásokat. A gyár újjáépítése idején már Pesten lakott.

A gyár államosítását követő központi irányítás, a személyét ért méltánytalanságok miatt választotta a már említett emigrációt. Valószínűleg nagyon nehéz volt számára ez a döntés. Egyrészt külföldön új egzisztenciát kellett teremtenie maga és az őt legálisan követő családja számára, másrészt gyötörhette a honvágy és az aggodalom itthon maradt bátyja és húga családjáért.

Előbb Argentínában kívánt maradni, végül Londonban bérelt lakást a város szívében. Ebből arra lehet következtetni, hogy szakértői munkáiból, szabadalmazásokból lehetett annyi jövedelme, amennyiből betegeskedő feleségét, annak édesanyját, továbbá két árván maradt, még iskolás unokaöccsét eltarthatta. Élete utolsó éveiben saját kft-t is alapított.

A Ganz-gyárral a végleges szakítás 1951-ben következett be, amikor egy hivatalos magyarországi gazdasági bizottság kereste őt fel Londonban. Ekkor lemondott itthoni szabadalmairól, a múltra vonatkozó igényeit azonban fenntartotta.

Ezekben az emigrációs években harmadik találmánya, az 1944-es szabadalmi prioritású *nyomáscserélő* megvalósításán fáradozott, ami egyébként 1953-tól angol szabadalmi védettséget is kapott. Váratlan haláláig azonban nem készült el a kísérleti példány. A hazai szakirodalom erről a találmányról szűkszavúan, elsősorban az 1944. évi magyar szabadalmi leírásra alapozva számolt be.

Jendrassik György anyanyelvén kívül beszélt angolul, franciául, németül, sőt spanyolul is. Ez nagyon megkönnyítette a Ganz-gyárbeli nemzetközi tárgyalásait, hiszen nem igényelt tolmácsot, amivel egyrészt megrövidítette a megbeszélések időtartamát, másrészt elkerülte a fordítások esetleges torzításait. Nyelvtudásával közvetlenül olvashatta-élvezhette a világirodalom remekeit, de nagy zenebarát hírében is állt, és a sport sem volt távol tőle.

Az ifjú Jendrassik György pl. elhúzódó betegsége ellenére (amitől csak 1934-ben szabadult meg) kiválóan futballozott, a MAC első osztályú csapatának jobbszélsőjeként rúgta a gólokat, és sovány testalkata ellenére az ökölvívásban is jeleskedett. 1953 végén unokaöccsének írt leveléből azt tudhatjuk meg, hogy 1953. november 25-én a Wembley-stadionban végignézte a ma már sporttörténeti értékű Magyarország–Anglia labdarúgó-mérkőzést, amely közismerten 6:3-as magyar győzelemmel végződött, és elismerően írt a magyar csapat ragyogó játékaról. Ez alig két hónappal váratlan halála előtt történt.

Az emigráció megpróbáltatásai, a családjáért érzett felelősség, az állandó, túlfeszített munka és a honvágy együtt felemésztette egészségét. Loránd bátyjának visszaemlékezéseiben olvasható, hogy mind az apai ági Jendrassik családban, mind az anyai ági Kégl családban gyenge volt a szív- és érrendszer. Ehhez járul-

hatott még a már említett, két évtizedes fiatalkori betegség, tetézve egy fölöslegesnek bizonyult műtéttel. Mindez siettetette korai halálát.

Londonban temették el. Számos magyar gépészmérnök fényképezte le sírkövét. Ezen az elhalálozás napja: 1954. február 8. Ezt vették át a magyar életrajzírók, a lexikonok. A valóságban azonban egy nappal előbb (1954. február 7-én) hunyt el Jendrassik György. Három hiteles forrás is felsorolható ennek igazolásául: a Jendrassik munkásságát nagyon elismerően értékelő, 1954. évi angol szakfolyóirati nekrológok mindegyike; az ugyancsak londoni emigrációban élt, volt Ganzgyári igazgató, *Stein Andor* levele Jendrassik György húgához, *Gyarmathy Istvánné*hoz; és végül *Jendrassik Loránd* már idézett visszaemlékezése.

Az Akadémiai Kiadó *A múlt magyar tudósai* sorozatában 1996 végén – nagyrészt a külföldi Magyar Mérnökök és Építészek Svájci Egyesülete támogatásával – megjelent Jendrassik Györgyről életpályairásom. Külön fejezetben foglaltam össze elismeréseit és a rá való emlékezéseket. Kissé átalakítva és bővítve ezek röviden a következők:

Elismerések életében:

- Három találmányáról csaknem 80 magyar és kb. 20 külföldi szabadalom (1924–1954).
- A Ganz-gyárban Jendrassik Motorszerkesztési Osztály működött (1927–1958).
- Az MMÉE Cserháti-plakettje a Ganz–Jendrassik-motorokról tartott egyleti előadásaiért (1936).
- A Verein Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen pályajutalma a Ganz–Jendrassik-motorok egyik legjobb, VI JaR 170/240 jelű típusáért (1937); megjegyezve, hogy a VI a hengerszámra, J Jendrassikra, a a járműre, R a rekonstruált változatra, a két szám a mm-ben kifejezett hengerfurat-átmérőre és löketre utal.
- Az MMÉE Hollán-díja a Jendrassik-gázturbináról 1939-ben az egyleti közlönyben megjelent tanulmányáért (1940).
- Az MTA levelező tagjává választása addig elért tudományos teljesítményeiért (1943).
- Meghagyása a Ganz-gyár vezérigazgatói tisztségében a vállalat 1946. évi államosítása után is.

Emlékek halála óta:

- Sírköve Londonban (S. W. Streatham cemetery, Rowan Rv. Grave No. 57 560, Square 36, Roman Catholic Section).
- Életrajzát megírták: *Engineering* (1954), *Oil Engine and Gas Turbine* (1954), *The Railway Gazette* (1954), Brodsky Dezső (1955), Jendrassik Loránd (1958), Vajda Pál (1958), Gombás Tibor (1967), Pásztor Endre (1986), Suba Gábor (1987), Terplán Zénó (1996), Gajdos Gusztáv (1998).
- A *Gépészeti Zsebkönyvben* – Weiner Emil írásában – a Ganz–Jendrassik-motor már 1937-ben, a Pattantyús: *Gépész- és villamosmérnökök kézikönyve* 4. kötetében, 1962-ben Jendrassik három nagy találmánya, Brodsky Dezső és

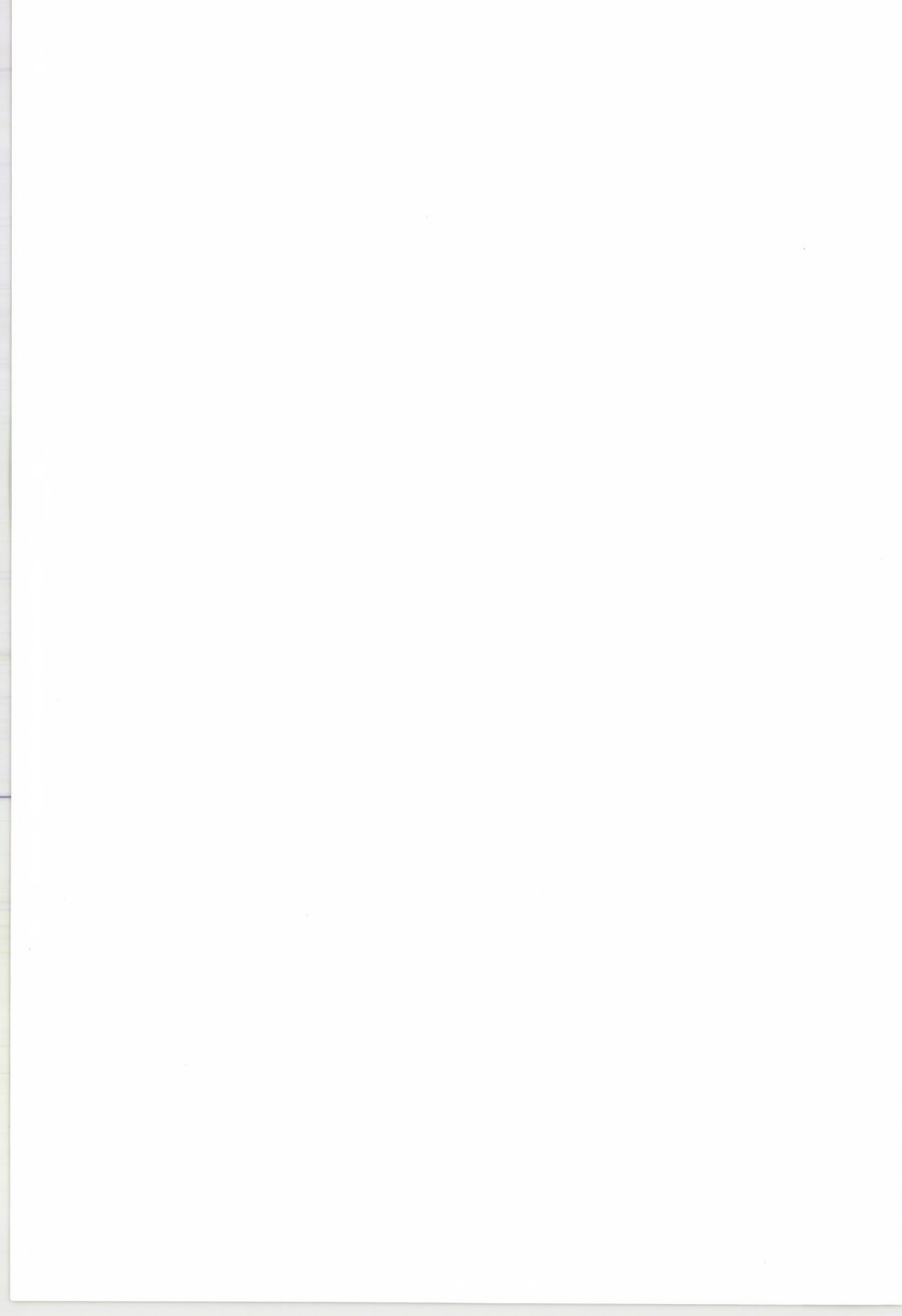
Kovácsházy Ernő tollából mint tananyag fordul elő; itt van szó az ún. Jendrassik-effektusról.

- Széchenyi-díj (posztumusz, 1990).
- Nevét felvette a szolnoki és a veszprémi középiskola (1990).
- Utcaelnevezések Budapesten és Miskolcon (1990).
- *A Fejezetek a 150 éves Ganz-gyár történetéből – 1844–1994* című díszes könyvben a négy nevezetes kiemelt gyári vezető egyike: Jendrassik György (1994).
- Emlékülés és -kiállítás a Ganz-múzeumban pontosan a 100. születésnapon (1998. május 13-án).
- A Magyar Posta 100 forintos emlékbélyege a 100 éves Jendrassik György arcképével (1998).

A végére hagytam azt az élményemet, hogy 1947-ben kétszer is találkozhattam vele. Először januárban *Pattantyús-Á. Géza* akadémikus professzorral, másodszor a május eleji elutazása előtt *Komondy Zoltán* professzorral voltam vendége. A Mérnöki Továbbképző Intézet akkori titkáráként kértem őt a téli látogatáskor, tartson a gázturbinákról előadást az intézet tavaszi tanfolyamán. Ezt készséggel elvállalta, de a második beszélgetéskor halasztást kért, elutazására hivatkozva. A tervezett előadás aztán végleg elmaradt, én viszont maradandó emlékekkel lettem gazdagabb.

Az elmondottakból is érzékelhető, hogy Jendrassik Györgynek nem volt könnyű élete. Minden sikerért nagyon meg kellett küzdenie a sors által rövidre szabott élete alatt. A már említett, róla szóló kis könyvem fejezetei elé *Voltaire*-től választottam idézeteket. Közülük a következővel zárom emlékbeszédemet:

„Minden, amit ezen a világon alkottak, mindig csak egy-egy olyan ember lángeszének és jellemeszilárdásának a műve, aki a tömeg előítéletei ellen küzd.”



A Ganz–Jendrassik-motorok jelentősége

A Ganz-gyárban a belső égésű motorok gyártása azzal vette kezdetét, hogy a gyár 1886-ban megvásárolta az ausztriai *Leobersdorfer Maschinenfabrik A. G.* gyárat – ahol már volt motorgyártás –, és az akkori vezérigazgató, Mechwart András megbízta Bánki Donátot a leobersdorfi gázmotor áttervezésével. A fejlesztés eredményeként 1889-ben megjelenik az első *Ganz-motor*, amelynek teljesítménye 1–3 LE (0,74–2,2 kW). A gyár terméklistáján 1893-ban már szerepelnek a *Bánki–Csonka-féle* karburátoros benzin- és petróleummotorok.

Technikatörténeti jelentősége van a *víz-befecskendezésű* Bánki-motornak (1898). Bánki tudta, hogy a kompresszió-végnyomás növelésével javítható a motor hatásfoka, de ugyanakkor növekszik a nemkívánatos öngyulladás veszélye is. Ez utóbbinak az elhárítására víz beporlasztását alkalmazta; a beporlasztott vízmennyiség párolgáshője ugyanis a hengerben komprimált tüzelőanyag-keverék felől nézve hőelvonást jelent. Ez a megoldás csak azért nem tudott elterjedni, mert hamarosan megjelentek az olcsóbb üzemanyaggal működő *dízelmotorok*. 1901-ben a Ganz leobersdorfi gyárában, majd 1912-től a budapesti gyárban is elkezdődik a *kompresszoros dízelmotorok* gyártása. Ezek teljesítményhatára már elérte a 600 LE (441 kW) értéket.

1910-ben kezdetét veszi a belső égésű motoroknak *vasúti járművekben* való alkalmazása. A Ganz-gyár 1912-ben egy kis *motormozdonyt* szállít a selmecbányai nemesfémhányák részére, 1913-ban pedig egy szabványos nyomtávú, villamos erőátvitelű üzemi mozdonyt a *Ganz és Társa Danubius flumei hajógyára* részére. Ezeket követi 8 keskeny nyomtávú motorkocsi a *Nyíregyháza-vidéki Kisvasút* és a *Bodrogházi Gazdasági Vasút* részére, amelyeknek jellemző adatai: 60 LE (44 kW) teljesítményű benzinmotor hajtotta egyenáramú generátor, két hajtott kerékpár.

Az 1920-as évek közepétől a Ganz-gyár mérnökei fokozott ütemben foglalkoztak benzin- és dízelmotorok fejlesztésével. Ennek fő célja a vasúti járművekben való alkalmazás volt, és 1925-től a gyár új profilja a *vasúti sínautóbusz* gyártása. Az első példányt a *Duna–Száva–Adria Vasúttársaság* részére szállították, amelynek jellemző adatai: IV Amc 130/160 típusszámú benzinmotor, 1100/perc

fordulatszám 57 LE (42 kW) teljesítmény; 75 km/óra utazási sebesség. A Ganz-gyár a MÁV részére mellékvonali *motorkocsit* fejlesztett ki, ennek jellemzői: VI Amc 130/160 benzinmotor, 1100/perc fordulatszám 75 LE (55 kW) teljesítménnyel, pneumatikus vezérlésű hajtómű, benne a fogaskerekek állandó kapcsolatban, indítás az I. fokozat lamelláinak (csökkentett nyomáson történő) csúsztatásával.

A Ganz-Jendrassik-dízelmotorok vasúti üzemen

Az első, igen kedvező tapasztalatok után a MÁV a Ganz-gyár által kifejlesztett vasúti motorkocsit alaptípusnak választotta, amire a gyár a következőkkel válaszolt:

- a gyári motorfejlesztés célját a vasúti vontatási feladatokhoz igazította;
- összehangolta a motor és a hajtómű fejlesztését, és ennek megfelelően
- a teljes gépi berendezést harmonikus egységként kezelte.

A gyári vezetés *Jendrassik Györgyöt* bízta meg vasútüzemre alkalmas dízelmotorcsalád kifejlesztésével, aki e feladatot olyan sikeresen oldotta meg, hogy a Ganz-gyár néhány év múlva vasúti motorkocsi gyártmányaival a dízélüzemű vasúti vontatás élvonalába került. Érdemes áttekinteni a Ganz-Jendrassik-motorok fejlődéstörténetének fontosabb állomásait.

1927: Hároméves tervező- és kísérleti munka után elkészültek az első gyors forgású, kompresszor nélküli *Ganz-Jendrassik-dízelmotorok* egy- és kéthengeres változatban, 130 mm furatátmérővel és 160 mm lökethosszal; ezek típuszáma és teljesítményadatai:

I Jm 130/160, 1000/perc fordulatszám 12 LE (8,8 kW),

II Jm 130/160, 1000/perc fordulatszám 24 LE (17,6 kW).

1928: A gyártmánylistán megjelenik a Ganz-Jendrassik-dízelmotor négy- és hathengeres változata is. Ezekből összesen 89 darab készült el 1931-ig.

1928. április 5. jelentős dátum a dízelmotoros vasúti vontatás történetében: e napon kezdődik a próbaüzem a *Duna-Száva-Adria Vasúttársaság* részére szállított három *sínautóbusszal*, amelyekben az erőforrás hathengeres Ganz-Jendrassik-motor:

VI Jk 130/160, 1000/perc fordulatszám 72 LE (53 kW).

1931: A *Duna-Száva-Adria Vasúttársaság* részére két *motorkocsi*, ebben egy újabb motor:

VI JmR 150/185, 1000/perc fordulatszám 120 LE (88 kW),
a furatátmérő és lökethossz megnövelése következtében nagyobb lett a motor teljesítménye is.

1933: A folyamatos fejlesztés eredményeként a gyártmánylistán megjelenik az egyik *legsikerültebb Jendrassik-motor*:

VI JaR 135/185, 1250/perc fordulatszám 120 LE (88 kW),
amelynek főbb jellemzői: álló, soros hengerelrendezés; a főcsapágyak a hengerek (korábban hengerpárok) között; az előkamra a hengerfedélben felel (korábban

merőlegesen) elhelyezve. Ebből a motortípusból 1933–35 között összesen 335 darab készült.

A Ganz-gyár külföldi sikersorozata azzal kezdődik, hogy a belga vasúttól megrendelést kap egy négytengelyes motorkocsi *forgóvázába beépítendő motorra*. A fejlesztési munka eredménye a két változatban (6 és 8 hengerrel) elkészült újabb Ganz-Jendrassik-motor:

VI JaR 170/220, 1250/perc fordulatszámon 220 LE (162 kW),

VIII JaR 170/220, 1250/perc fordulatszámon 300 LE (221 kW),

a teljes gépi berendezés a hajtott forgóvázban, mindkét kerékpár kardántengellyel meghajtva, ötfokozatú fogaskerék-hajtómű.

Az Árpád típusú négytengelyű gyorsmotorkocsi valódi világsiker: a belga, román, bolgár, lengyel, csehszlovák, jugoszláv, egyiptomi, argentin, brazil, spanyol, rhodéziai, uruguayi, indiai vasutak részére szállította a Ganz-gyár. Az ezeket hajtó motor a belga vasút megrendelésére kifejlesztett hathengeres változat. A motorkocsi tartós utazási sebessége 110 km/óra; a Budapest–Bécs közötti út (278 km) egy megállással 2 óra 58 percet vett igénybe. (A mai menetrend szerint ugyanez az út négy megállással 3 óráig tart.) Az Árpád típusú motorkocsikba később beépített motortípusok:

VI JaR 170/240, 1250/perc fordulatszámon 240 LE (176 kW),

VIII JaR 170/220, 1250/perc fordulatszámon 300 LE (221 kW).

1933–69 között összesen 742 db JaR motor készült el; ezek stabil változatából 1935–79 között pedig összesen 616 darabot szállított a gyár. A vasúti járművek teljesítményigénye folytonos növekedését kielégítendő fejlesztette ki a gyár a Ganz-Jendrassik V típusú motorcsaládot:

IV Jv 170/240, 1150/perc fordulatszámon 150 LE (110 kW),

XII Jv 170/240, 1150/perc fordulatszámon 450 LE (330 kW),

XVI Jv 170/240, 1150/perc fordulatszámon 600 LE (440 kW).

Ezekből 1939–78 között összesen 1510 darab készült.

A motorok feltöltésének gondolatával maga Jendrassik György is foglalkozott, de a feltöltés gyakorlati megvalósulására csak a háború után kerülhetett sor a BBC gyártású turbófeltöltőkkel. A háború a Ganz-Jendrassik-motorok fejlődéstörténetében is törést jelentett, jóllehet a jóvátételi szállítások átmenetileg jótékonyan hatottak a motorgyártás volumenére. Az 1950-es évek motorfejlesztési munkái a Ganz-gyárban már Jendrassik György nélkül folytak, több-kevesebb sikerrel. Az újabb típusokból a Jendrassik-elv fokozatosan kiszorult, és a folyamat végállomása az 1967-ben vásárolt francia licenc alapján gyártott SEMI-PIELSTICK motorcsalád lett, ami azonban már egy másik történet kezdetét jelenti.

A Ganz-Jendrassik-motorok technikatörténeti jelentősége

Már az első Jendrassik-motoroknál is megtalálhatók azok az elvi és szerkezeti megoldások, amelyek egyrészt eltérést jelentettek a fejlett ipari országokban kifej-

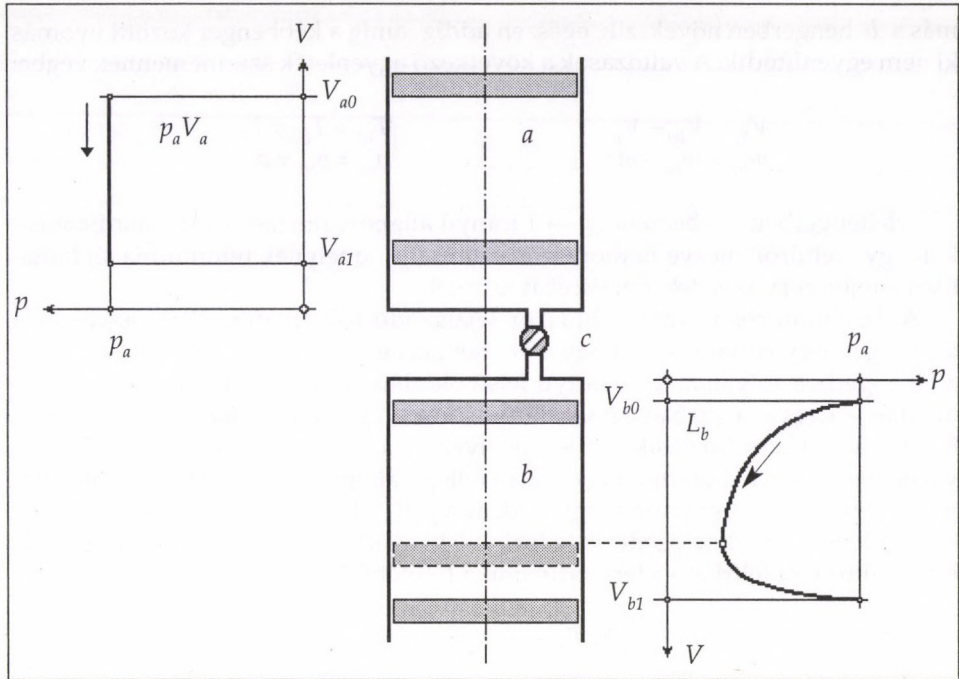
lesztett dízelmotorokhoz képest, másrészt alapvetően meghatározták e motorok előnyös tulajdonságait. Ezek tömör összefoglalására négy tézis állítható fel:

1. A Jendrassik-motorok égéstere *előkamrás*, az előkamra és a fő égési tér közötti kapcsolat *több furaton* keresztül van biztosítva, amelyek közül az egyik a porlasztóból kilövellt tüzelőanyag-sugár irányába esik; e furattal szemben a *dugattyún szemölcs* van kiképezve, amely egyrészt segíti a finom szemcsés keverék képződését, másrészt meggátolja a tüzelőanyagnak a dugattyútetőre tapadását.
2. Az előkamra hatása és a dugattyúszemölcs elosztó szerepe egymást hatékonyan támogatja, és a tüzelőanyag jó elégését biztosítja, ezért a befecskendezéshez elegendő a *kis nyomáson működő, egyfuratú, nyitott porlasztó*, amelynek furata oly nagy ($\varnothing 1$ mm), hogy eldugulás gyakorlatilag nem fordulhat elő (közvetlen befecskendezés esetén: $\varnothing 0,15-0,20$ mm).
3. A befecskendezőrendszer tápszivattyújának dugattyúját nem kényszerpálya, hanem *rugó* működteti, s ezáltal a dugattyú nyomóerőket alatti mozgása *bármely fordulatszámra azonos módon megy végbe*, így a befecskendező szervek dinamikus összehangolása révén biztosítható a fordulatszámától független, azonos *porlasztási minőség*.
4. Az előkamrás motorok hidegindítási nehézségeit a Jendrassik-motor a *szívószelepek késleltetett nyitásával* küszöböli ki; ennek érdekében a motorban a szívószelepek részére *külön vezértengely* van, és ezen külön *bütyökkiképzés* a normál üzemre, és külön az indításkori, késleltetett szelepnýtásra.

A dízelmotorok hidegindítása a kezdetektől fogva sok gondot okozott. A nehézségek abból adódnak, hogy az égőtér hőelvezető felületei – és ezáltal a hengerbe juttatott tüzelőanyag-keverék lehűlése – a hengerméret csökkenésével fajlagosan növekszenek. Egy meghatározott hengermérettől számítva ez a hőelvezetés a sűrítési ütem alatt már olyan mértékű lehet, hogy a motor indításakor és részterhelésekor a hengerben a sűrítés végén adódó hőmérséklet már nem elégséges a keverék biztonságos gyulladáshoz. Előkamrás motoroknál ez a hatás fokozott mértékben jelentkezik.

Ezt a problémát oldotta meg Jendrassik György az általa szabadalmaztatott, egyedülállóan szellemes indítási eljárással (*Jendrassik-effektus*), aminek tömör megfogalmazását maga a feltaláló adta meg [VDI Zeitschrift, 73, (1929) 29]: „Az új, a gyakorlatban már többször eredménnyel kipróbált eljárás szerint a hidegen beszívott levegő felmelegszik azáltal, hogy a szívószelep csak a szívólöket vége felé nyílik ki. Ez a felmelegedés pótolja a falakon keresztül elvezetett hőt, és megkönnyíti a tüzelőanyag gyulladását.”

Az eljárás azon az egyes szerzők által *Thomson-effektus*nak is nevezett jelenségen alapul, miszerint ha a gáz a légüres térbe nyomásnövekedés mellett áramlik be, akkor az ott felmelegszik. Légüres edénybe beömlő T_0 abszolút hőmérsékletű gáz hőmérséklete a nyomás-kiegyenlítés végére $T_1 = \kappa T_0$ értékű lesz (ahol κ az állandó nyomáson és állandó térfogaton mért fajhők hányadosa: $\kappa = c_p / c_v$).



1. ábra. Két mozgó dugattyús henger közötti fojtószerven történő átáramlás

Jendrassik 1929-ben egy egyszerű levezetés kíséretében ennek a *jelenségnek* az általánosítását adta meg arra az esetre, amikor az edény, amelybe a gáz beáramlik, nem teljesen légüres, és a beáramlás alatt az edény térfogata még változik is. Az 1. ábrán egy-egy mozgó dugattyút is magába foglaló két henger metszete látható, amelyek egy fojtószerven át csatlakoznak egymáshoz. A dugattyúk mozgása egymástól különböző, a fojtás pedig változó lehet. A c fojtószervert megnyitva az a henger dugattyúja mozogjon úgy, hogy m tömegű gáz kiáramlása alatt az a hengerben a nyomás állandó értéken maradjon; ez esetben a hőmérséklet is állandó T_a értéken marad. Ha a kezdő állapotot 0 és a végállapotot 1 index jelöli, akkor a térfogat-, hőmérséklet-, tömeg- és nyomásváltozásra a következő négy egyenlet írható fel:

$$\begin{aligned} V_{a1} &= V_{a0} - V_a \\ m_{a1} &= m_{a0} - m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{a1} &= T_{a0} = T_a \\ p_{a1} &= p_{a0} = p_a \end{aligned}$$

Az a hengerben végbemenő $0 \rightarrow 1$ irányú állapotváltozást a V, p koordinátasíkon egy, az abszcisszatengellyel párhuzamos egyenes tünteti fel.

A b henger dugattyúja még a c fojtószerv nyitása előtt mozduljon el úgy, hogy ezzel a b hengerben egy erősen légritkított teret hozzon létre a fojtószerv nyitásának kezdetére (az 1. ábrán szaggatott vonallal jelölve). A fojtószerv nyitása után a dugattyú a mozgását tovább folytatja, miközben a beömlő gáz hatására a nyo-

más a b hengerben növekszik, egészen addig, amíg a két henger közötti nyomás ki nem egyenlítődik. A változások a következő egyenletek szerint mennek végbe:

$$\begin{aligned} V_{b1} &= V_{b0} - V_b \\ m_{b1} &= m_{b0} - m \end{aligned} \qquad \begin{aligned} T_{b1} &> T_{b0} = T_a \\ p_{b1} &= p_{b0} = p_a. \end{aligned}$$

A b hengerben végbemenő, $0 \rightarrow 1$ irányú állapotváltozást a V, p koordinátáson egy „felülről” nézve homorú görbe mutatja, amelynek minimuma jól láthatóan a fojtószer *késleltetett nyitására* tartozik.

A dízelmotorban hidegindításkor lejátszódó folyamatra alkalmazva ezt a jelenséget, úgy járhatunk el, hogy a két hengert egyesítve gondoljuk el, és akkor a b hengerbeli folyamat a dugattyú felső oldalán, az a hengerbeli pedig az alsó oldalán – vagyis a szabad atmoszferikus környezetben – játszódik le (2. ábra). Miután a V, p koordinátáson a V tengelyen a változás a dugattyú elmozdulásával egyenértékű, a dugattyú két oldalán fellépő állapotváltozás egybe is rajzolható, s az így nyert diagramon megjelenik az a $p_a V_a - L_b$ munka, amely a b hengerbe beáramló levegő felmelegedését fedezi. A b hengertérben fellépő $0 \rightarrow 1$ irányú állapotváltozásra felírható a termodinamika I. főtétele:

$$m_{b1} c_V T_{b1} - m_{b0} c_V T_a + L_b = m c_p T_a.$$

Az ideális gáztörvény ($p/\rho = RT$; $R = c_p - c_v$) alapján felírhatók a következő egyenlőségek:

$$\begin{aligned} p_a V_a &= m R T_a & m c_p T_a &= m c_V T_a + p_a V_a \\ m_{b0} &= \frac{p_a V_{b0}}{R T_a} & m_{b1} &= \frac{p_a V_{b1}}{R T_{b1}}, \end{aligned}$$

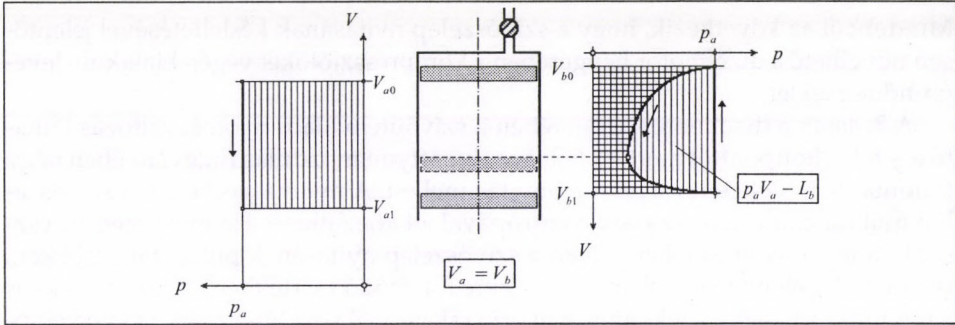
és ezeket az előbbi főtételebe behelyettesítve nyerte Jendrassik a

$$T_{b1} [p_a V_{b1} + (\kappa - 1) p_a V_{b0} + (\kappa - 1) L_b] = \kappa T_a p_a V_{b1}$$

összefüggést a kezdő és a végállapot hőmérséklete között.¹ Ebből az egyenletből azonnal kitűnik, hogy a $V_{b0} \rightarrow 0, L_b \rightarrow 0$ határeset a vákuumba történő beáramlás

¹ Az egyenlet levezetése:

$$\begin{aligned} m_{b1} c_V T_{b1} &= (m_{b0} + m) c_V T_a + p_a V_a - L_b \\ T_{b1} &= T_a + \frac{p_a V_a}{m_{b1} c_V} - \frac{L_b}{m_{b1} c_V} = T_a + \frac{R}{c_V} T_a \frac{m}{m_{b1}} - \frac{R}{c_V} T_{b1} \frac{L_b}{p_a V_{b1}} \\ m/m_{b1} &= 1 - m_{b0}/m_{b1} = 1 - V_{b0} T_{b1}/V_{b1} T_a \\ T_{b1} &= T_a + (\kappa - 1) \left(T_a - \frac{V_{b0}}{V_{b1}} T_{b1} \right) - (\kappa - 1) \frac{L_b}{p_a V_{b1}} T_{b1} \\ T_{b1} [p_a V_{b1} + (\kappa - 1) p_a V_{b0} + (\kappa - 1) L_b] &= \kappa T_a p_a V_{b1}. \end{aligned}$$



2. ábra. A dízelmotor dugattyújának két oldalán végbemenő folyamatok késleltetett szívószelepnyitás mellett

esetével (Thomson-effektus) megegyező eredményt szolgáltat. A Thomson-effektus tehát a Jendrassik-effektus egy speciális esetének tekinthető. A Jendrassik által levezetett előbbi egyenlet T_{b1} -re történő megoldásával adódik a

$$T_{b1} = \frac{\kappa T_a}{1 + (\kappa - 1) \left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{L_b}{p_a V_{b1}} \right)}$$

összefüggés (ahol $\varepsilon = V_{b1}/V_{b0}$ a kompresszióviszonyt jelenti), amely már alkalmas annak elemzésére, hogy a különböző időpontokban bekövetkező szívószelepnyitásokhoz a szívólöket végére mekkora hőmérséklet-emelkedés tartozik. Az így adódó T_{b1} hőmérséklet ugyanis a kompressziólöket kezdő hőmérséklete, és ha a szívólöket végére sikerül a beszívott levegő hőmérsékletét növelni, akkor az a kompressziólöket végére hatványozottan megnő, és ez megkönnyíti a tüzelőanyag gyulladását a dízelmotor hengerében. Ha a szívószelep

- a szívólöket elején azonnal nyílik (és a nyomás a hengerben a löket végén megegyezik a környezet p_a nyomásával), akkor a hőmérséklet a hengerben nem emelkedik²: $T_{b1} = T_a$;
- a löket végén nyílik (és a nyomás-kiegyenlítés a hengerben hirtelen bekövetkezik), akkor a levegő hőmérséklete a hengerben a folyamat végén a T_a értéknél nagyobb lesz³:

$$T_{b1} = \frac{\kappa T_a}{1 + \frac{\kappa}{\varepsilon} - \frac{1}{\varepsilon^\kappa}} > T_a$$

² Az L_b munka ekkor:

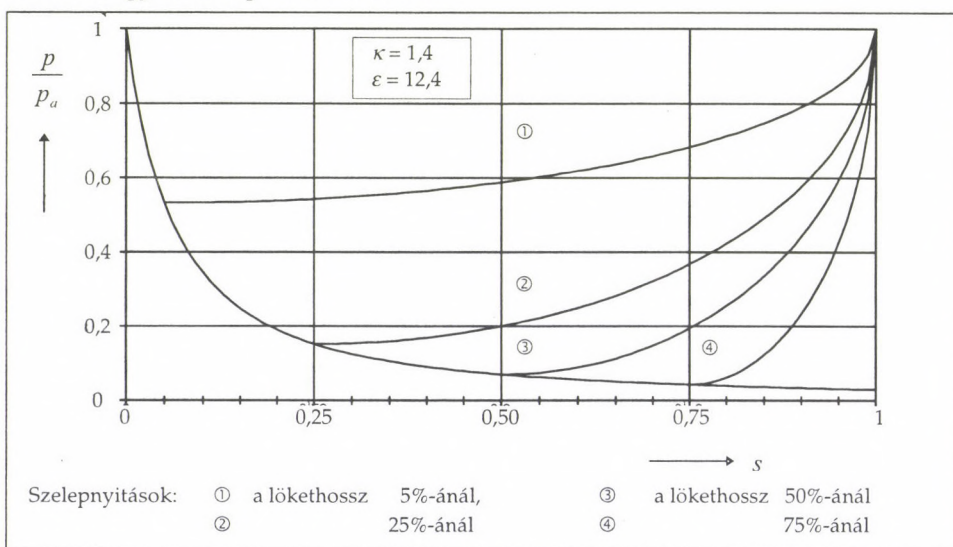
$$L_b = p_a (V_{b1} - V_{b0}) = p_a V_{b1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \right).$$

³ Az L_b munka ekkor:

$$L_b = \frac{p_a V_{b0}}{\kappa - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}} \right).$$

Mindebből az következik, hogy a szívószelep nyitásának késleltetésével jelentősen növelhető a dízelmotor hengerében a kompressziólöket végén kialakuló levegő-hőmérséklet.

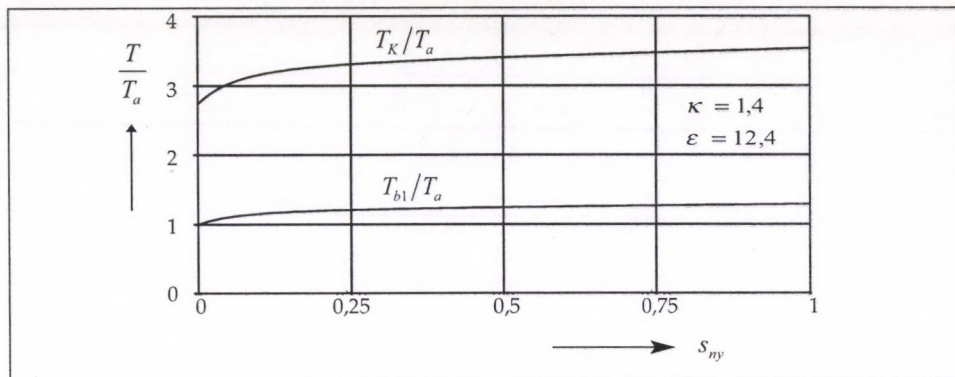
A 3. ábrán a dízelmotor hengerében a szívóütem alatti nyomásváltozás látható a – felső holtponttól mért – s fajlagos dugattyúelmozdulás függvényében négy különböző késleltetett szívószelepnyitás mellett. A nyomásgörbéknek a szívószelep nyitása előtti szakasza egy izentrópával jól közelíthető. Ha most még felteszünk, hogy a nyomás a hengerben a szívószelep nyitásának pillanatáig csökken, utána pedig eleinte lassabban, majd egyre fokozódó mértékben növekszik, akkor a nyomásgörbéknek a szelepnyitás utáni szakasza jól közelíthető egy negyed ellipszissel (3. ábra). A beszívott levegőnek a kompressziólöket alatti nyomásváltozása ismét egy izentrópával közelíthető.



Ha a 3. ábrán vázolt nyomásgörbék alatti területnek megfelelő munkát az említett közelítésekkel – miszerint a szelepnyitás előtti szakaszt izentrópa, az utána következő szakaszt pedig egy ellipszisnegyed alkotja – kiszámítjuk, akkor a Jendrassik-féle formulában fellépő $L_b/p_a V_{b1}$ tényezőre a következő kifejezést nyerjük:

$$\frac{L_b}{p_a V_{b1}} = \frac{1 - [1 + s_{ny}(\epsilon - 1)]^{1-\kappa}}{\epsilon(\kappa - 1)} + \frac{(\epsilon - 1)}{\epsilon} (1 - s_{ny}) \left\{ 1 - \frac{\pi}{4} \left(1 - [1 + s_{ny}(\epsilon - 1)]^{-\kappa} \right) \right\},$$

ahol s_{ny} a szelepnyitáshoz tartozó fajlagos dugattyúelmozdulás. Könnyű belátni, hogy kifejezés segítségével a Jendrassik-formula alapján meghatározható a szívószelep késleltetett nyitásával a szívólöket végén elérhető hőmérséklet-emelkedést kifejező T_{b1}/T_a viszonyszám. A kompressziólöket végén – izentrópus kom-



4. ábra. A kompresszió kezdő és vég hőmérsékletének változása a szívószelepnyitás függvényében

resszió feltételezése mellett – a hőmérséklet a jól ismert $T_k = T_{b1} \epsilon^{\kappa-1}$ képlettel számítható.

Ha ezekkel a képletekkel most meghatározzuk a motor hengerében a szívó- és a kompresszióelőket végén adódó hőmérsékletek alakulását a szívószelep nyitásának függvényében, és diagramban ábrázoljuk azokat (4. ábra), akkor világossá válik előttünk a Jendrassik-effektus termodinamikai lényege és motorteknikai jelentősége is. Ha példának okáért a kompresszióviszony $\epsilon = 12,4$ (az első Jendrassik-motorok kompresszióviszonya), és a szívószelep a szívóelőket 75%-ánál nyit, akkor a beszívott T_a hőmérsékletű levegőnek a kompresszió végére adódó T_k hőmérséklete az alábbi táblázat szerint alakul (a T'_k értékek a nem késleltetett szelepnyitáshoz tartoznak):

| | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T_a [°C] | – 40 | – 30 | – 20 | – 10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| T_k [°C] | 536,6 | 571,4 | 606,1 | 640,8 | 675,6 | 710,3 | 745,1 | 779,8 | 814,6 |
| T'_k [°C] | 364,9 | 392,2 | 419,6 | 447,0 | 474,4 | 501,7 | 529,1 | 556,5 | 583,9 |

A táblázat tanúsága szerint a Jendrassik-féle indítási eljárással a motor hengerében a kompresszió végén – a környezeti hőmérséklettől függően – 170–230 °C-kal magasabb levegő-hőmérséklet érhető el, mint anélkül. Ez a hőmérséklet-emelkedés elegendő a Ganz-Jendrassik-motoroknak az időjárástól független, biztonságos hidegindításhoz.

GYARMATHY GYÖRGY

A Jendrassik-gázturbina és -nyomáscserélő

Előadásomat szeretném néhány személyes mondattal kezdeni. Jendrassik György édesanyámnak testvérbátyja volt, nekem pedig keresztapám. Számos ifjúkori emlékem fűződik hozzá. Bár 1947 után már nem találkozhattam vele – s azelőtt is, mint kisfiú, mindig csak messziről láttam, felnőttek között –, egyénisége és példája életem folyására és pályaválasztásomra nagy befolyást gyakorolt. Halála után több dokumentum került tőle birtokomba, s a '80-as években igyekeztem felkutatni Angliában még fellelhető nyomait. Előadásomban nagyrészt ezekre fogok támaszkodni. Mégis mély hálát érzek azok iránt, akik életének folyását és alkotásait átfogó és pontos tanulmányokban rögzítették, mint elsősorban Gombás Tibor [1] és legújabban Terplán Zénó professzor [2]. Köszönettel tartozom továbbá Zágón József Ganz-gyári mérnöknek és az Országos Műszaki Múzeumnak az utóbbi tulajdonában lévő tárgyakról és rajzokról készült fényképekről.

*

Századunk elején a termodinamika izgalmas, világnézetet formáló, nagy technikai távlatokat megnyitó tudománynak számított. Nem csoda, hogy korán felkelte az ifjú Jendrassik György lelkesedését is.

Gimnáziumi éveinek idején alig 20-25 éves múltra tekintett vissza a *gőzturbina*, amely gyors forgásánál fogva igen alkalmas volt arra, hogy elektromos dinamókat közvetlenül, áttétel nélkül hajtson meg. A gőzturbina gyors ütemben szorítja ki a dugattyús, behemót gőzgépeket a széntüzeléses áramfejlesztés terén.

Új gépfajta a dugattyús *belső égésű motor* is, legyen az gáz-, benzin- vagy *nyersolaj-tüzelésű*. Ez utóbbi gépfajtának, a Diesel-féle motornak a továbbfejlesztésébe kapcsolódik bele Jendrassik egyetemi tanulmányainak elvégeztével. Láttuk az előző előadásokból, hogy rövid 10-15 év alatt a dízel terén milyen eredeti elgondolásokat tudott a Ganz-gyár számára gazdaságilag is jelentékeny sikerre vinni.

A dízelmotor terén elért áttörés után, a '30-as évek közepétől egyre inkább a *gázturbina* – vagyis a *belső égésű turbina* – köti le érdeklődését.

A gázturbina megalkotása

E gépfajta kigondolásával és megvalósításával körülbelül tíz éven át, 1935 és 1944 között, élete legtermékenyebb időszakában foglalkozott – párhuzamosan mindazokkal a feladatokkal, amelyek a Ganz-gyárban és a motorok licenciavevői révén hárultak rá mint feltalálóra, a dízelmotor-szerkesztés vezetőjére és később mint vezérigazgatóra.

Mint ismeretes, a gázturbina körülbelül ugyanúgy viszonylik a dugattyús nyersolaj- vagy gázmotorhoz, mint a gőzturbina a gőzgéphez. Egyenletes, gyors forgása által kisebb, könnyebb, olcsóbban gyártható és üzemeltethető szerkezetet ígér. Ám mialatt a gőzturbina századunk első évtizedeiben diadalúton haladt, a gázturbina megvalósítására irányuló kísérletek rendre megghiúsultak. A német Stolze, majd Holzwarth, az angol Parsons, a francia Lemale s az Armengaud fivérek, a magyar Zsélyi Aladár és mások nevei jelezték a gázturbina útját – vagyis inkább azt a széles árkot, amely a járhatatlanul keskeny ösvény mentén húzódott.

A műszaki tudományban a századforduló óta heves vita dúlt arról, hogy *egyáltalán lehetséges-e* a gázturbina megvalósítása. A kérdés onnan adódik, hogy a turbina meghajtásához gőz helyett nagy nyomású, felhevített levegőre van szükség. Ehhez a beszívott friss levegőt előbb sűríteni kell, majd az égőtérben felhevíteni. A levegő sűrítése sajnos igen munkaigényes folyamat, sokkal munkaigényesebb, mint pl. a gőzturbinás erőműben a tápvíznek az igen nagy nyomás alatt álló kazánba való beszívattyúzása. A turbina kifejtette hasznos munkát könnyen felémésztheti a kompresszor, különösen akkor, ha alacsony hatásfokkal működik.

Márpedig 70% feletti hatásfokú forgó kompresszort 1930 előtt még senkinek sem sikerült megalkotnia. A dugattyús kompresszorok – nagy súlyuknál fogva – nem jöhettek szóba a szükséges nagy légmennyiség miatt. Ez volt a baja a centrifugális kompresszornak is. Az axiális kompresszorba pedig belebukott mindenki, aki próbálkozott vele.

Igaz, titkos kísérletek folytak többfelé, s a svájci Brown Boveri-gyár kísérleti gépei a '30-as évek elején kezdték elérni a 80% feletti hatásfokot [3]. Tervezőjük a gyár későbbi műszaki igazgatója, századunkban Svájc egyik legkiválóbb, mind az elmélet, mind a gyakorlat és a vezetés terén tevékeny mérnöke, a Jendrassikkal körülbelül egykorú Claude Seippel (1900–1986) volt. Az első, 80% körüli hatásfokú axiális kompresszorokat gőzkazánok nyomás alatti tüzelésére használták fel. Eme Velox kazánok céljára számos, áramlástanilag különbözőképpen szerkesztett lapátozást mértek végig 1930 és 1935 között. Nagy elismerést keltett Seippel azzal a 13 fokozatú, 3-as nyomásviszonyú, nagyméretű (másodpercenként 43 köbméter levegőt beszívó) géppel, amelyet Ackeret professzor a zürichi műegyetem újonnan létesítendő transzszonikus szélcsatornája számára rendelt meg 1933-ban. Ez az 1935-ben felállított gép, amely az atmoszférából való beszívás esetén kb. 82%-os hatásfokot lett volna képes elérni,¹ volt a világ első sikeres,

¹ A szélcsatorna 0,125 atmoszférás üzemi szívónyomásán a mért hatásfok az alacsony Reynolds-szám következtében 75% volt.

önálló axiális kompresszora. Ackeret professzor megrendelt ugyanakkor – a másik, hangsebesség alatti szélcsatorna számára – egy nagyméretű, egyetlen fokozatú szubszonikus fúvót a zürichi Escher Wyss cégtől. Ennek kísérleteit C. Keller végezte az Escher Wyss-gyárban, s kísérleti eredményeit 1934-ben doktori értekezésében tette közzé *Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie* címmel [4].

Jendrassik György kezdettől tisztában volt a kompresszor kulcsszerepével a gázturbina körfolyamatában, de eleinte feltehetőleg mit sem tudott a Brown Boveri cégnél már javában folyó kísérletekről. Keller disszertációját viszont gondosan tanulmányozta, s ennek alapján tervezte meg leendő gázturbinájának axiális kompresszorát. Tudta, hogy jó sűrítő birtokában az égést állandó nyomáson lehet lefolytatni, s a zárt (vagyis állandó) térfogatnál való tüzelés hatalmas konstrikciós problémáit meg lehet kerülni. S felismerte, hogy a Keller által kísérletileg is kimutatott út, olyan elcsavart lapátokkal, amelyeknek profilját a repülőgépek szárnyáról mintázták, a többfokozatú axiális kompresszoroknál is célra kell hogy vezessen.

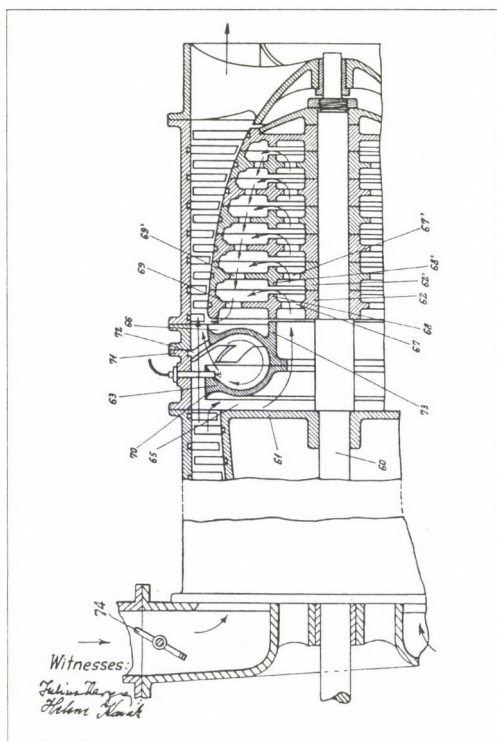
A Ganz-gyárat a bizonytalan kimenetelű gázturbina-fejlesztés nem érdekelte, bár a gyár a magyar ipar történetében mindig is az új víziók iránt legfogékonyabb vállalatok közé tartozott, és kitűnő műszaki gárdával rendelkezett. A számítások és rajzok elkészítését Jendrassik 1935 folyamán a Kelenhegyi út 43. alatti otthonában kezdte meg, ahol már jó tíz évvel korábban a dízelmotor döntő, első hideginđítási előkísérletei is lezajlottak. S most hadd idézzem Gombás Tibor 1968-ban írt Jendrassik-életrajzát [1]: „Hogy a gázturbina-ügyet mégis cégszerűen lehessen intézni, [...] 1936-ban megalakította a »Találmánykifejlesztő és Értékesítő Kft.«-t, amelynek ő lett a vezetője, helyettese a Ganz Vagongyár szolgálatától megvált [...] Huszár Béla, alkalmazottai pedig pár fiatal gépészmérnök. [...] A Találmánykifejlesztő költségeit kezdetben Jendrassik maga fedezte, de rövidesen sikerült neki az Iparügyi Minisztérium jelentős támogatását is megszerezni. Szerkesztési irodája a Ganz Vagongyárban kapott helyiséget, kísérletei pedig Árpay Károly finommechanikai kisüzemében [...] [Óbudán] folytak.”

Térjünk azonban át a műszaki eredmények ismertetésére! A munka előrehaladását legjobban a szabadalmi bejelentések szakadatlan sora dokumentálja. Jendrassik 1935 és 1943 között összesen 37 magyar szabadalmat jegyeztetett be a gázturbinával kapcsolatban, s ezeknek nagy részét az összes fontos külföldi országban is bejelentette. Kiragadott példaként álljon itt a turbinán belüli (mai szaknyelven: szekvenciális) tüzeléssel egybekötött expanziót leíró, 1937. februári elsőbbségű szabadalom² amerikai változatának egyik ábrája (1. kép). A képen mutatott, légcsvaer hajtására szánt gázturbina kompresszora határréteg-elszívással, forgórészre belső hűtéssel van kikepezve. A szabadalom számos, ma igen elterjedt konstrukciós elvet is leír, pl. a külön fordulatszámú, koncentrikusan elrendezett, magas- és alacsonynyomású forgórészt s a kompresszorfokozatok felosztását a két forgórész között.

² A Terplán írt életrajzban [2] ez a 37. sz. szabadalom.

Jendrassik első gondja azonban a jó hatásfokú axiális kompresszor megalkotása volt. A Keller-féle alapokon elindulva megtervezett egy igen egyszerű és célszerű kísérleti gépet, amellyel egy 6 fokozatból álló lapátozás hatásfokát lehetett megmérni. Rendkívül egyszerű volt a konstrukció elv: a kompresszor a levegőt homloknyílásain át közvetlenül a szabadból szívta be, és két (mérőperemmel felszerelt) kilépő csonton keresztül oda is fújta ki; háza golyóscsapágyokon elforgathatóan nyugodott. Így a szíj által mozgásba hozott forgó lapátok hatására a ház szabadon el akart fordulni, s egyszerű mérlegkarral közvetlenül mérhetővé vált a lapátozás forgatónyomatéka s ezzel a felvett teljesítmény is (2. kép). A remélt sűrítést és hatásfokot rögtön az első lapátozási változattal elérték. Ez az 50% reakciójú, elcsavart lapátú kiképzési mód bizonyult az összes variáns közül a legjobbnak.

Jendrassik a számítások ilyen sikerén felbuzdulva elhatározta, hogy további előkísérlet nélkül egyenesen megtervezi a turbinát, a hőcserélőt s az egész kísér-

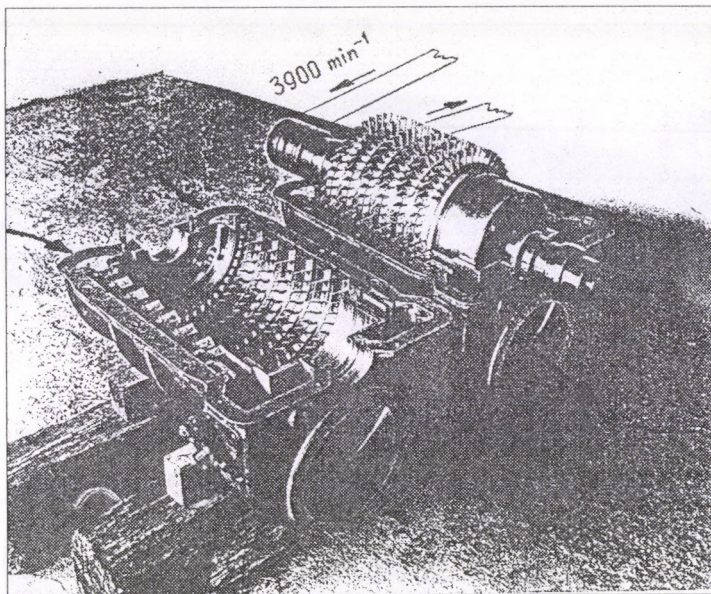


1. kép. Repülőgép-hajtómű szabadalmi rajza
1937-ből

leti körfolyamatot [5]. A gépcsoportot igen gyorsan végigszámították és megépítették. A 3. a képen az egyes gépegyeségeket könnyebb felismerni, ha alájuk berajzoljuk a kapcsolási vázlatot (3. b kép). A *K* kompresszor a friss levegőt az *a* szívócsövön át kapja, és sűrítve átnyomja az *R* jelű rekuratív hőcserélőn át az *f* tüzelőtérbe, ahol nyersolaj befecskendezése révén a hőfok megemelkedik. A forró égési gázok a *T* turbinába áramlanak. Onnét a fáradt gáz a hőcserélőn és a *k* kipufogócsövön keresztül a szabadba távozik. A turbina a kompresszort s a fennmaradó hasznos teljesítmény mérésére szolgáló vízféket hajtja meg (ez utóbbit a turbina eltakarja). Az előtérben látható villanymotor indítás után lekapcsolódik a tengelyről. A nyersolaj- és kenőolaj-szivattyúkat a turbinatengely hajtja. A képen a hőcserélő még nincs bekötve.

Az indításra 1938. december 2-án kerül sor. Alig egy hónappal később, 1939. január 7-én már hivatalos hatásfokmérést végeznek a M. Kir.

Technológiai és Anyagvizsgáló Intézet mérnökei. Ezeknek eredményeiről Jendrassik a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet előtt 1939. március 8-án tartott előadásában számolt be. Eszerint a gépcsoport 16'400 percenkénti fordulatszámnál 98,5 LE (72,4 kW) nettó teljesít-



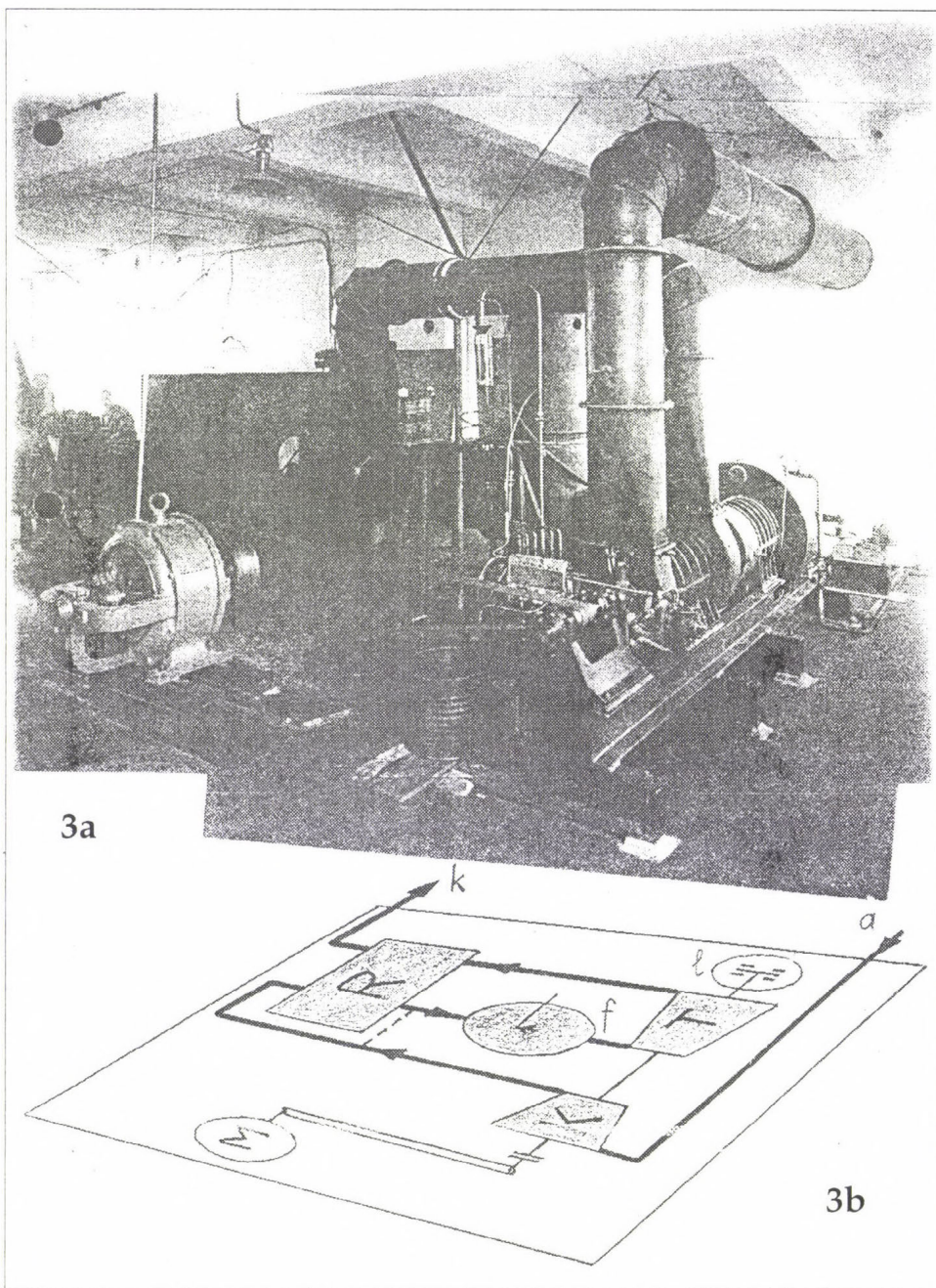
2. kép. Előkísérleti kompresszor 1937-ből

ményt adott le, és hatásfoka 21,2% volt. A beszívott téli levegő hőmérséklete 2,5 °C volt. A tüzelés révén a turbinába lépő gázkeverék hőfokát 475 °C-ra állították be, mert csupán ennyit engedett meg a lapátok acélötvöze. A kompresszor 2,2 atmoszféra nyomást adott. Belső hatásfoka – a lapátozás igen alacsony Reynolds-számához (70'000) képest – 85%-os értékével az akkori fogalmak szerint kiválónak bizonyult. A turbina 88% körüli hatásfoka is megfelelt az elvárásnak. A 4. képen a két kicsiny méretű forgórész látható.

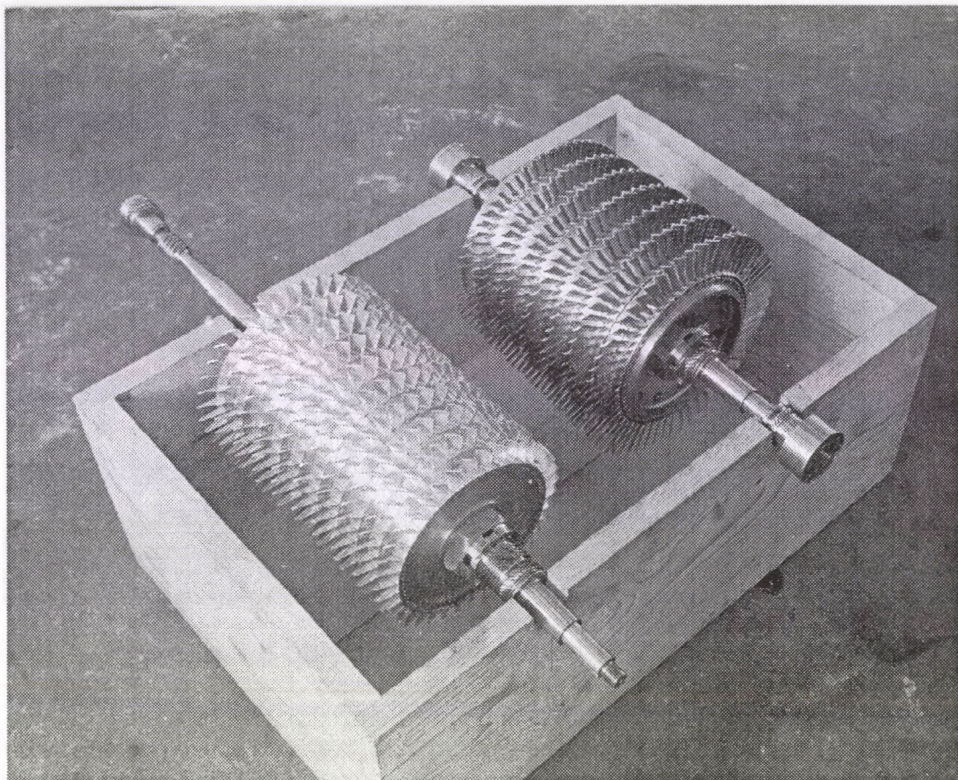
Problémák adódtak az újszerű hőcserélővel, mert nem tömített rendesen, és ellenállása is nagyobbnak bizonyult a tervezettnél. A remélt 25% hatásfokot emiatt ugyan nem sikerült elérni, de az eredmény mégis túltett minden korábbról ismeretes gázturbinán. További kísérletek során a tüzelési hőmérsékletet rövid időre valamivel magasabbra emelve, 24,5% hatásfokot is elértek.

Jendrassik – mintegy versenyt futva a Brown Boveri cég mérnökeivel – ezzel az alig hároméves tervező- és fejlesztőmunkával megvalósította a világ első, állandó nyomású tüzeléssel valóban működő kísérleti gázturbináját. Az eredmények Európa-szerte visszhangot keltettek. Londonban az *Engineering* már 1939. február 17-i számában közölte őket [6], a magyar sajtó márciusban, a *VDI Zeitschrift* júliusban [7].

Közben (február 24-én) elhangzott Londonban a Brown Boveri-gyár műszaki igazgatójának, Adolf Meyernek az előadása [8] gyárának gázturbinákkal kapcsolatos addigi eredményeiről és terveiről. Jendrassik augusztusban látogatást tett Svájcban a Brown Boveri cégnél, s hosszas eszmecsere folytatott Seippellel (akit a dízelmotorok turbófeltöltése miatt már korábbról ismert) és egyik fő munkatár-



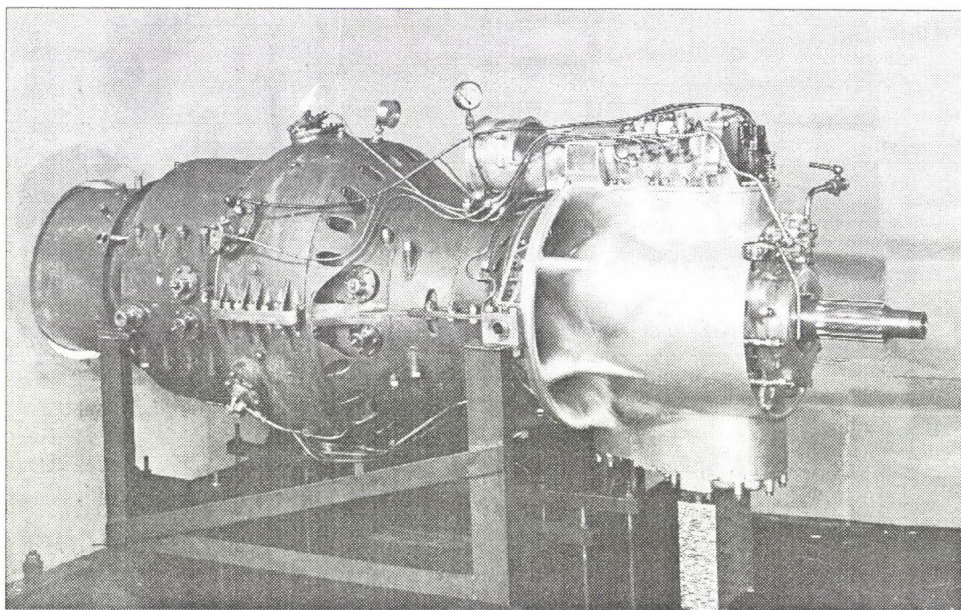
3. kép. A 100 lóerős első kísérleti gázturbina, alul a kapcsolási vázlat



4. kép. A kompresszor és (hátról) a turbina forgórészei

sával, Hans Pfenningerrel. E megbeszélés svájci feljegyzéséből [9] derül ki, hogy Jendrassik további terveiben ekkor egy 1000 kW-os széntüzeléses egység megépítése szerepelt.

Itt jegyzendő meg, hogy ugyanekkor a Brown Boveri-gyárban már készen állott a világ első erőművi célokra épített, 4000 kW teljesítményű gázturbinája. Ezen a gépen a semleges méréseket Stodola Aurél professzor felügyelete alatt végezték el 1939. július 7-én, alig hat héttel Jendrassik említett látogatása előtt! (Nem ismeretes, hogy megmutatták-e neki a próbapadon álló gépet.) A mérések igen részletesen feldolgozott eredményeit Stodola tette közzé az *Engineering* hasábjain 1940 januárjában [10]. Ez a hőcserélő nélküli gép 18,0%-kal igen gazdaságos hatásfokot ért el, s joggal szerepel a szakirodalomban mint a világ első „igazi” gázturbinája. Kompresszorának és turbinájának együttes hatásfoka (szorzatérték) 75% volt, s a gázok 550 °C hőfokkal léptek a turbinába, amit a jobb hőálló anyagok s a Brown Boveri rendelkezésére álló széles gyakorlati tapasztalatok (Velox kazán) nagy kockázat nélkül lehetővé tettek. A turbinát Neuchâtel városa vette meg biztonsági tartaléknak. Ha kell, még ma is be lehet indítani.

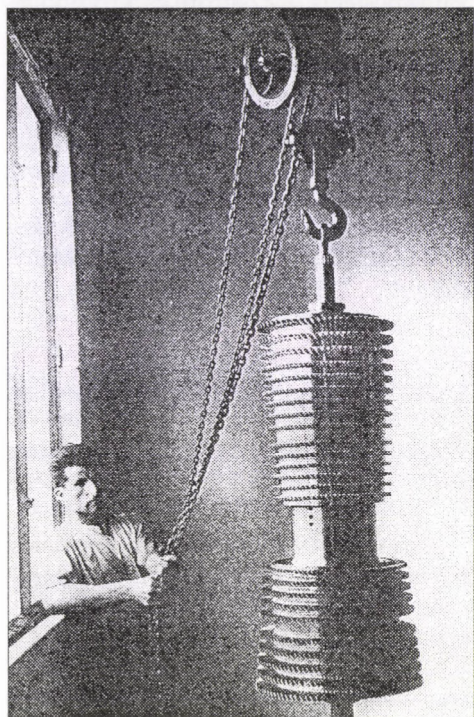


5. kép. A Cs. 1 jelű repülőgép-gázturbina, gyűrűs égőkamrával

Mindaz, ami a gázturbina kifejlesztésének nemzetközi háttérét idézi, világosan mutatja, hogy mennyire izgalmas, szinte napokon múló versengés jegyében születtek meg 1939 táján a világ első, műszakilag sikeres gázturbinái.³ Jendrassik a gázturbina jövőjét elsősorban a repülés és a járművek terén látta. Ha nem is tudhatott Németország és Anglia éppen beinduló titkos programjairól, de a magyar légierő erősebb motorokkal való felszerelése első céljai között szerepelt.

A számítások elvégzése után 1939 nyarán látnak neki a Cs.1 jelű csavaros repülőgép-motor (titoktartás végett, beceneven: csónakmotor!) megrajzolásának. Ez a gép is igen hamar elkészült, és 1940 augusztusában próbapadra került Árpay Károly óbudai üzemében (5. kép). Példamutatóan könnyű konstrukciót sejtet a már 1937 júliusában szabadalmaztatott merev forgórész, amelynek központi csavarral összefesztett, vékony, könnyű tárcsái X keresztmetszetű peremekkel támaszkodnak egymásnak (6. kép). Ezt a modern elveket korán megvalósító konstrukciót később egy angol folyóirat is dicsérve emeli ki a Jendrassik halálakor megjelent nekrológban [11].

3 A teljesség kedvéért hozzáfűzendő ehhez néhány megjegyzés a repülőgép-gázturbinát illetően is. Németországban a Heinkel repülőgépgyárban ugyanebben az időben készült el az a sugárhajtómű, amelyet egy fiatal fizikus, Hans Pabst von Ohain tervezett, s amellyel 1939. augusztus 27-én sikerült a világ első hőlégsugaras repülése. A titoktartás tökéletes volt, senki se neszelte meg ezt a nagy katonai fontosságú eseményt – kivéve egy ott állomásozó, jó fülű angol kémét, akinek feltűnt, hogy az egyik aznapi repülőgép a szokott berregés helyett sivító hangot adott. Ennek a hírnek a hatására az illetékes brit minisztérium (szintén szigorú titoktartás mellett) azonnal lehetővé tette, hogy Frank Whittle katonatiszt, a sugárhajtás angol úttörője, repülőgépbe építse már korábban kifejlesztett, centrifugális kompresszort használó gázturbináját. Whittle gázturbinája 1941. május 14-én szállt fel első ízben.



6. kép. A repülőgép-gázturbina könnyű forgórésze

Nagy problémát okozott a túl szűk térbe szabott, gyűrű alakú égőtér, amelynek az lett volna a feladata, hogy a láng egy részét a turbina lapátkoszorúba terjessze ki, izotermikus expanzió és az azzal járó magasabb körfolyami hatásfok érdekében. Az égőtér belsejét illetően számos konstrukciós megoldást próbáltak ki, de sehogy sem sikerült vele a gép hasznos teljesítményét 30% fölé emelni. A kísérletek 1943 végéig elhúzódtak, amikor is a háború felerősödése miatt végleg félbe kellett szakítani.

Jendrassik a németek elől mindvégig titkolta e kísérleteket, mert mindenképpen el akarta kerülni, hogy találmányai a német hadsereg szolgálatába kerüljenek. Ezért került minden nyilvános feltűnést, s inkább hagyta elaludni találmányai ügyét.

A Cs.1-gyel egy időben fogtak neki egy mozdonyokhoz és tehergépkocsikhoz szánt, 300 LE teljesítményű, kétengelyes prototípus megszerkesztésének [1, 12]. Ez volt tudomásom szerint a világ első, külön munkaturbinával és szabadon futó gázfejlesztő tengellyel ki-

vitelezett gázturbinája. A Ganz-gyár egyik műhelyében állították fel. A képen fent látható gázfejlesztő s a lent eldugott munkaturbina közötti szekrényben az égőtér és a hőcserélő foglal helyet (7. kép). Az egység kapcsolása és elrendezése [11] a rajzból jobban látható (8. kép). Számos új gondolat valósul meg e gépben. Ilyen pl. a hasznos teljesítmény gyors szabályozása egy megkerülő szelep segítségével, vagy a turbinatárcsák belülről való léghűtése. Ennek hatékonyságát a lapátok hosszúra nyújtott, gallérszerű hőpajzzsal ellátott lába is fokozta. Szabadalmi bejelentésük 1937-ben történt. Svédországból származó acélból öntötték őket.

A következő képen (9. kép), amely már a mai Műszaki Múzeumból származik, az előtérben a csapágyház szabad hőtágulást engedő öntvénye látható. Jellemzően virtuóz konstrukció! – Egészében véve azonban a nagyszámú súlyos öntvény erősen megnövelte a gépegység súlyát, ezért közúti forgalomra ebben a formában aligha lehetett volna alkalmas. A további kísérleteket itt is félbeszakította a háború.

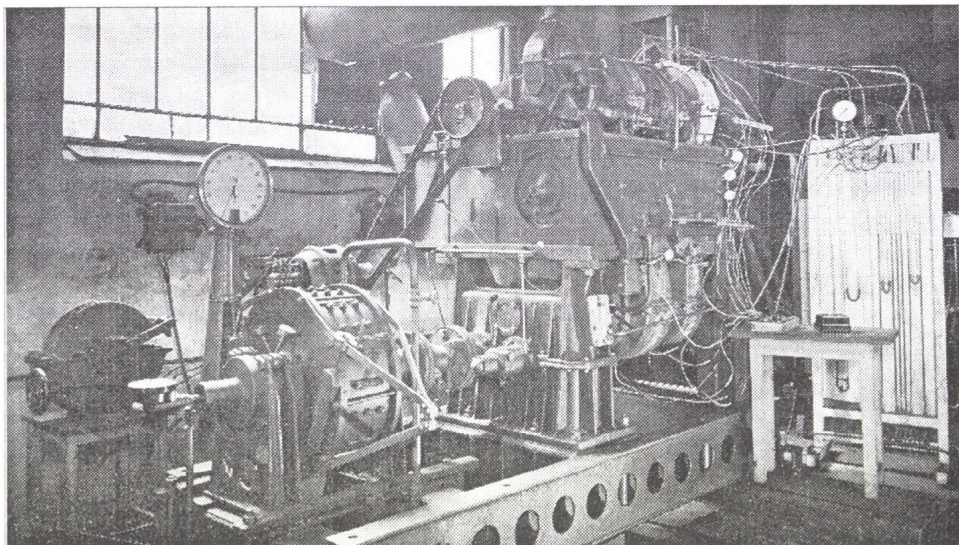
1944 első felében még egy axiális turbinából és kompresszorból álló turbótöltő is megszületett [1]. Egy hathengeres dízelmotoron sikerrel ki is próbálták. Ezzel azonban vége szakad a budapesti gázturbina-kísérleteknek.

1944 végén a háború teljes erővel éri el Budapestet is. Az ostrom és a rombolások ellenére az első gázturbina fontos részei megmaradnak, úgyszintén a későbbi kísérleti gépek legnagyobb része is. Ma a Műszaki Múzeumban őrzik ezeket.

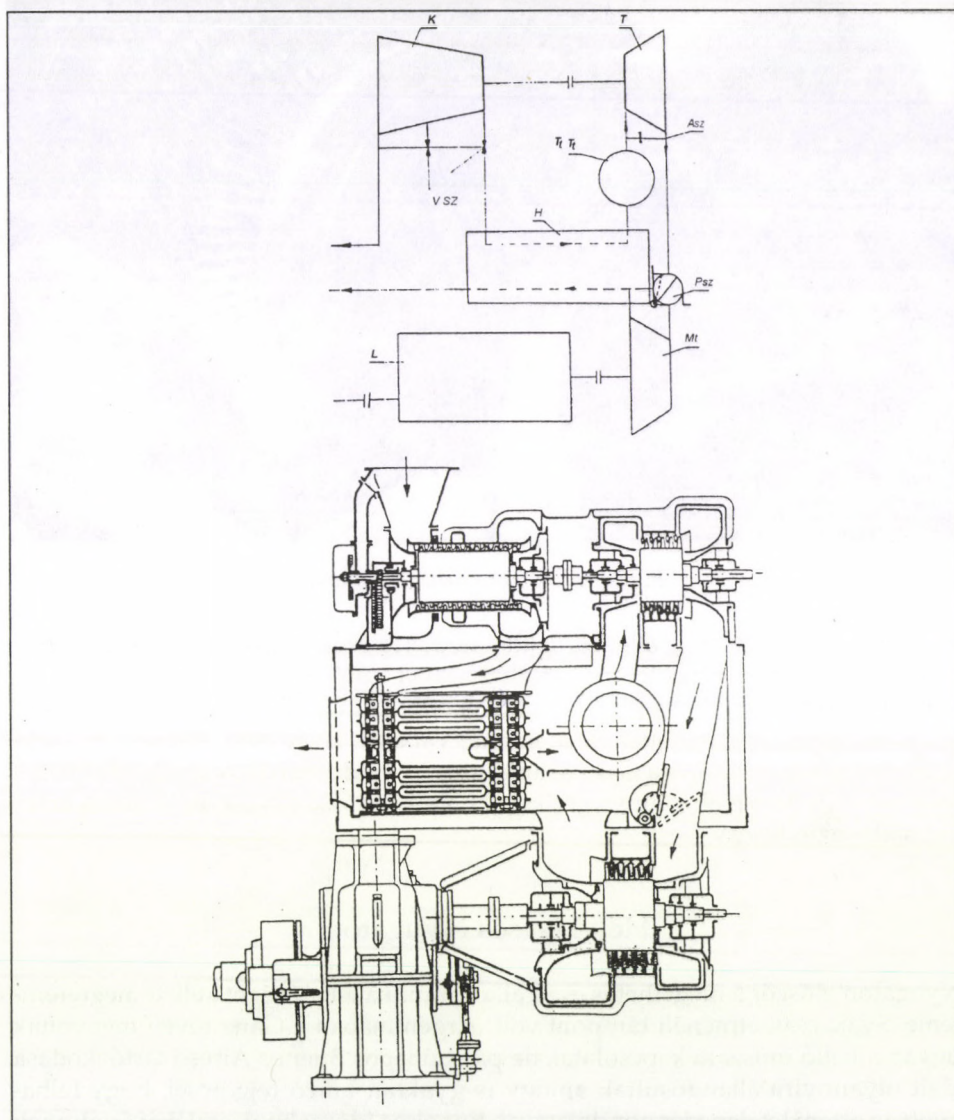
A nagy törés

Az 1944-es év vége, az ostrom, majd a romeltakarítás és a kezdődő újjáépítés idején a feltalálói tevékenység folytatására nem jut sem idő, sem pénz, sem figyelem, sem erő. A mindennapi élet elemi nehézségei és a Ganz-gyár egzisztenciális gondjai lekötik Jendrassik minden energiáját. Az események gyorsan peregnek: német megszállás 1944 márciusától; beidézés a német parancsnokságra, kísérlet a Ganz-gyár háborús célokra való erősebb bekapcsolására; zsidó munkatársak bűjtatása; majd az ostrom; villáját telitalálat éri, kis híján ő is, családja is az óvóhelyen pusztul; az ostrom végét a japán követség épületében éli át. Huszár Bélát otthona előtt, vízfordás közben foglyul ejtik s elhurcolják a szovjetek. Jendrassik sokáig keresteti, eredménytelenül. Ez a veszteség mély sebet ejt rajta. Felszabadulás. A gyári károk számbavétele. Fosztogatás, majd némi normalizálódás. Termelés jóvátételre. A vezetőséget kezdik szabotázzsal vádolni. Megindul az „osztályharc” a gyárban. A jövő árnyai előrevetődnek.

Közben kemény munka a háború előtti külkereskedelmi kapcsolatok visszaállítására. Már 1945 végén az első utazások Nyugatra és Romániába, a Ganz régi ügyfeleihez és a motorok licencievevőikhez. Komoly sikerek: Angliában új licenciat vesz a Sentinel cég, Argentínából nagy vasúti megrendelést kap. Közben ott-hon támadások a személye ellen. Uszító cikk a *Szabad Népben* (1946. április 12.).

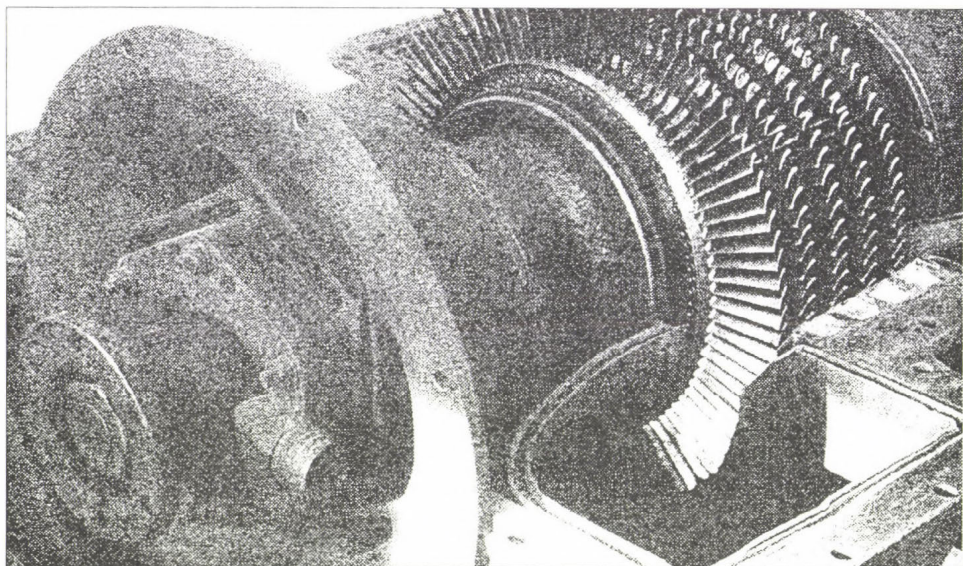


7. kép. A JR 300 kéttengelyes, rekuperátoros járműgázturbina



8. kép. A JR 300 kapcsolási rajza [11] (K kompresszor, T turbina, Tt tüzelőtér, Asz áteresztőszelep, H hőkicsérő, Psz pillangószelep, Vsz visszaeresztő szelep L lassítómű, Mt munkaturbina)

Mint a GYOSZ Vasipari Szakosztályának elnöke, 1947 elején egy Vas Zoltán vezette ipari küldöttséggel Moszkvába utazik tárgyalásokra. A téma a jóvátétel. Ez az út döntő hatást gyakorol reá, mert kénytelen belátni, hogy a magyar ipart helyreállítani nem lehet, csak a szovjet érdekeket kiszolgálni. Ő, aki a háború



9. kép. A JR 300 munkaturbinája

éveiben a gyár élén végig elleneszegült a németek erőszakoskodásának, nem hajlandó most sem meghajolni az osztálygyűlölet szítóinak önkénye előtt. De ezt hangosan nem mondhatja ki. S nem cselekedhet úgy, ahogy az ország és a gyár érdekében a leghelyesebbnek látja. Ez magyarázza, hogy 1947. május 4-én megkezdett, immár sokadik s a Ganz számára ismét eredményes nyugati útvjáról nem tér vissza. Családjának júniusban sikerül Csehszlovákián keresztül Svájcba kijutva csatlakozni hozzá.

Helykeresés Nyugaton

Nyugaton először a megélhetés és az alkotómunka lehetőségét kellett megteremtenie. Svájc csak átmeneti támpont volt. Argentínában a Ganz révén megvoltak ugyan a kellő műszaki kapcsolatai, de pár hónapos Buenos Aires-i tartózkodása alatt olyannyira állandósultak amúgy is gyakran kínzó fejförccsei, hogy felhagyott az ottani letelepedés gondolatával. Ennek az időszaknak emlékét őrzik azok a kézírásos jegyzetek, amelyekben a *napenergia* olcsó felhasználására dolgoz ki terveket [13].

Végül is Anglia mellett dönt. Nagybeteg feleségével utazik oda 1948 nyarán. Ott már az 1930-as évek óta folyt a Ganz–Jendrassik-motorok gyártása, s most tanácsadóként fogadja be a Metropolitan Railcars cég, valamint egy hajógyártó üzem. Ez s az öt részben továbbra is megillető motor-licenciadíjak képezik azt a kiindulási alapot, amellyel Angliában családja megélhetését és saját működését biztosítottak látja.

Műszaki téren pedig ismét vannak új elképzelései. Igaz, a gázturbina továbbfejlesztésébe bekapcsolódni már nem lehet. Erre a háború győztes államai hatalmas összegekkel állami fejlesztési programokat hoztak létre. A feltaláló Sir Frank Whittle cégét a brit állam vette át, s 1000 embert dolgoztatott a gázturbinás repülés terén. Az amerikai katonai programokkal Jendrassik tudomásom szerint nem keresi a kapcsolatot. (Bár gondolom, hogy kutató-fejlesztő mérnökként már korábban is tárt karokkal fogadták volna Amerikában.) Úttörő szabadalmait a háború során mind kisajátították. Keserűen állapította meg már első nyugati utazásain, hogy ekkora lemaradást képtelenség behozni.

A nyomáscserélő, illetve nyomásugraszto

Az új gép, a *nyomáscserélő*, amely már 1944 óta a fejében forog, új, szokatlan elveken alapul: akár a gázturbina vagy a turbófeltöltő kompresszora, nagynyomású, forró égési gáz által szolgáltatott energiával sűríti a levegőt. Ám ahelyett, hogy a gázáram turbinakereket, az pedig kompresszorkereket hajtana, a gáz közvetlenül (de igen rövid időre korlátozott érintkezésekkel) komprimálja a levegőt. Ez úgy történik, hogy egy forgó dobnek a kerületén csatornaszerű, egyenes, axiális irányba mutató,⁴ mindkét végükön nyitott cellákat alakítanak ki (10. kép felső rész). A cellák végeit résmentesen lezárják egy-egy állórész homlokfalával. Az állórészekben azonban járatokat alakítanak ki úgy, hogy a cellák egyik vagy másik vége forgás közben rövid időre a járatok nyílása elé ér. Aszerint, hogy a nyitás pillanatában a járatban vagy a cellában uralkodik-e magasabb nyomás, vagy a csatorna lök be egy adag gázt a cellába, vagy fordítva.

Ha például a cellában atmoszferikus nyomású levegő s a járatban magasabb nyomású gáz foglal helyet, akkor a nyitás folytán a levegő nyomása megemelkedik, s a cella egyik végébe valamennyi gáz hatol be. A nyomásemelkedés folytatódó olyan járatokkal, amelyek rendre magasabb nyomású terekből hoznak gázt. Végül a megemelt nyomású levegőt felhasználás céljára kieresztik úgy, hogy a cella másik végét kellő időre egy valamivel alacsonyabb nyomású légtérrel kötik össze. Hasonló módon lehet a cella nyomását fokozatosan csökkenteni is. A dob teljes körbefordulása alatt legalább egy teljes ciklusnak kell lezajlania. (De lehet két vagy több ciklust is és ennek megfelelő számú járatot elhelyezni a kerületen.) Ha a cellák eléggé keskenyek, az áramlás folyamata a ház szemszögéből nézve időtállóan mondható. A rotor forgatásához csak annyi nyomaték kell, amennyit a csapágyellenállás megkövetel, hiszen a kompressziós munkát a beáramló és expandáló gáz végzi.

A 10. kép elvi vázlat Jendrassik korai elgondolásairól. A Power Jets intézet egyik mérnöke készítette a vele folytatott eszmecsere alapján 1950 januárjában [14]. A forgó dobot magában foglaló hengeres ház felett tüzelőkamra látható. A vázlat és a hozzátartozó leírás szerint a tüzeléssel nyert emelt nyomású gáz egy

⁴ Axiális helyett néha enyhén csavarvonal alakú cellákat is használnak.

része a beszívott levegő sűrítését végzi el nyomáscsere útján, másik része külön turbinában munkavégzésre hasznosítható. A gázt a tüzelőtérből csapolják meg.⁵ A 10. kép alsó mezőjében 2000 LE teljesítményű gépcsoport látható, felül a szokványos (vagyis kompresszoros-turbinás) gázfejlesztővel és hőcserélővel, alul a nyomáscserélővel.

Az első nyomáscserélőket a német Burghard 1928-ban [15] és a francia Lèbre 1933-ban [16] szabadalmaztatta. E szabadalmak valószínűleg szóba kerültek Jendrassik egyik svájci látogatása alkalmával, mert Seippel ilyen géppel remélte megoldani a Brown Boveri-gázturbina magas hőmérsékletű részeiben a szerkezeti anyagokkal fellépő problémákat. Jendrassik figyelmét nyilván nem kerülték el a Brown Boveri idevágó, friss szabadalmi bejelentései sem [17].

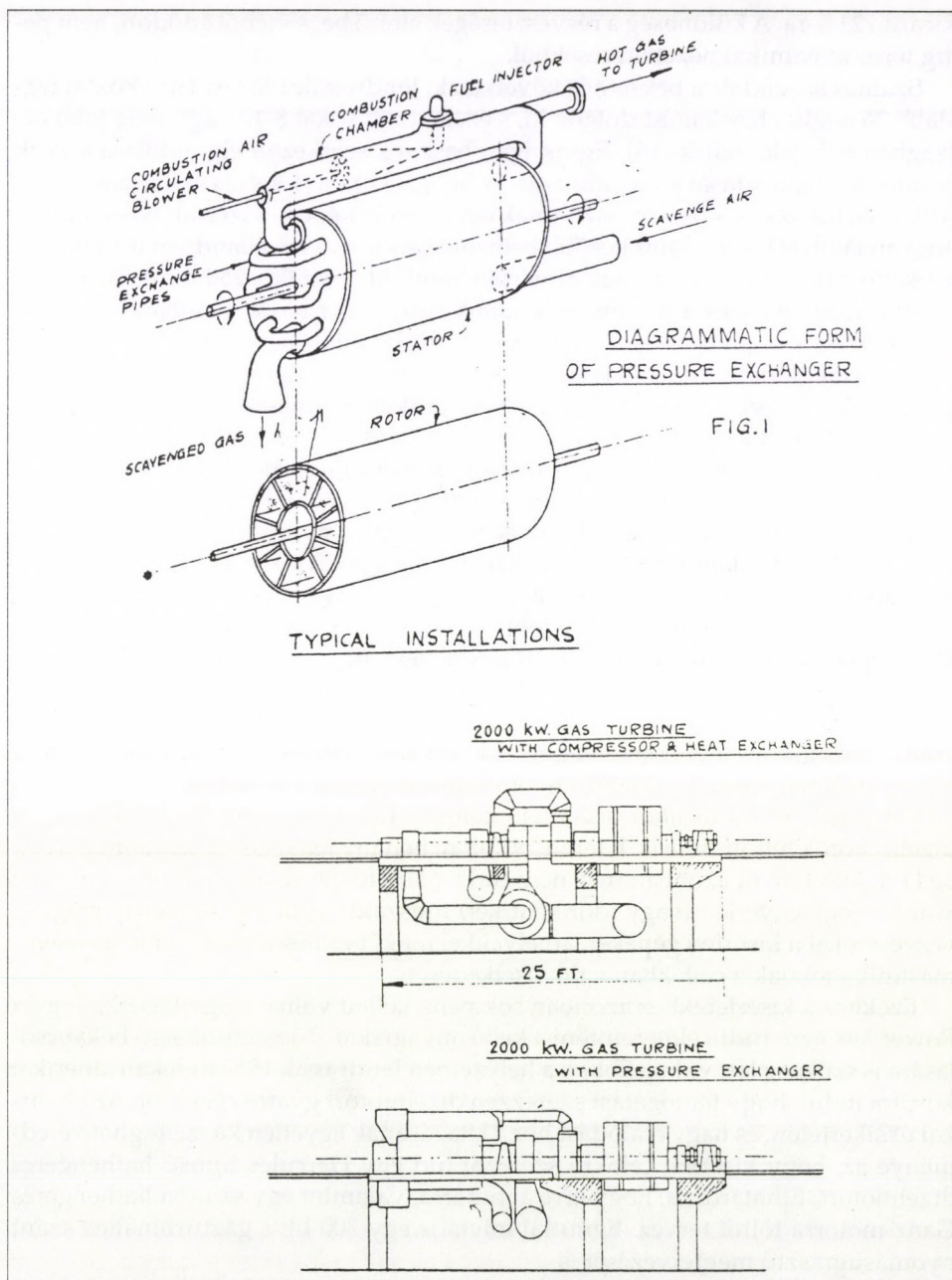
Ezek a lehetőségek már 1944-ben is – tehát még otthon – annyira foglalkoztatják, hogy elkészülnek egy nyomáscserélő első rajzai. A kényes réstömítési kérdések szerkezeti megoldására szabadalmi bejelentést is tesz 1944 nyarán. S most, Angliába érkezvén, ezt az új gépet akarja sikerre vinni. Kapcsolatba lép a londoni *Power Jets (Research & Development) Ltd.*, (röviden PJ) céggel, Sir Frank Whittle állami kezelésbe átvett vállalatával. Ott a nevét a gázturbina miatt már igen jól ismerik. Ebből az első kapcsolatból élete végéig tartó szoros együttműködés alakul ki.

Itt jegyzendő meg, hogy Jendrassik nyomáscserélőkre (és nyomásugrasztoókra) vonatkozó jegyzetei sajnos mind elvesztek. A Kew Gardens-i angol állami levéltárban megőrizték azonban a PJ cég belső feljegyzéseit és műszaki jelentéseit. Ezek behatóan foglalkoznak Jendrassik munkájával. Az iratok révén elég pontosan figyelemmel lehet kísérni a munka fázisait, habár elgondolásait és számításainak menetét csak a kommentárokból lehet kikövetkeztetni. A következő kép körvonalazódik.

Jendrassik kezdetben a nyomáscserélő alkalmazási területét elsősorban a gázturbina terén látja. Kisebb teljesítmények esetén ugyanis olcsóbbnak tűnik egy olyan megoldás, amelyben a munkaturbinát hajtó gázáramot egy nyomáscserélő állítja elő a szokásos kompresszor és turbina helyett. Ezzel az elképzeléssel nyeri meg a PJ vezetőinek érdeklődését. Előbb szóbeli, majd 1951 nyarán írásbeli megállapodást kötnek, miszerint ő számol és tervez, a cég fizeti a szabadalmaztatás igen tetemes költségeinek nagy részét, s a szabadalmak haszna majd kb. fele-fele arányban illeti meg őket. A rend kedvéért Jendrassik is céget jegyeztet be *Jendrassik Developments Ltd.* néven, s ezen keresztül ő is részt vesz a szabadalmi költségek egy részének az előteremtésében.

Már 1948 végén nekilát a munkának. Egy első, 2000 LE teljesítményű prototípust számol végig a fent ismertetett (Lèbre-féle) elvek alapján. A számításokat a PJ cég vezetői rögtön ellenőriztetik a hírneves Ricardo kutatóintézettel, azok beható számítások után helyeslő véleményt adnak. A Ricardo-jelentés azt javasolja a PJ-nek, hogy lássanak hozzá mielőbb a kísérleti munkálatokhoz is. A leendő nyomáscserélős turbina körfolyami hatásfokát Jendrassik 25%-ra becsüli, a

5 A tüzelőtér két végén látható keringető ventillátort, ill. gázvezető csontot az ábrán tévedésből felcserélték.



10. kép. A statikus elvű, forró gázt fejlesztő nyomáscserélő elvi vázlata, korabeli angol feljegyzés alapján 1950 elejéről [14]. Fent: a nyomáscserélő, rajta az égőkamra.
 Lent: a konvencionális és a nyomáscserélős gázturbina összehasonlítása

Ricardo 21 %-ra. A különbség a résveszteségek eltérő becsléséből adódott, nem pedig termodinamikai nézeteltérésekből.

Számos szabadalmi bejelentés következik. Jendrassik 1949 és 1953 között legalább 26 angliai bejelentést dolgoz ki, s ezek közül sokat 8-10 vagy még több országban is bejelentenek [18]. Egyik igen hasznos szerkezeti elgondolása a szűk homlokrés biztosítására vonatkozott. A hengerköpenyt kettős fallal alakítja ki [19], ezek teleszkopikusan csúszhatnak egymáshoz képest, aszerint, hogy a forgó hogyan tágul (11. kép). Mint később bebizonyosodott, a rés állandóan 0,2 mm-nél szűkebb tudott maradni, a nagy átmérőjű homloklapfelület (kb. 250 mm) ellenére is.

A szabadalmak és a feljegyzések tanúbizonysága szerint azonban 1951 nyarán Jendrassik elgondolásai lényeges fordulat állott be – angol partnereinek nem kis meglepetésére. A nyomáscserélő szerkezeti egyszerűsítése kedvéért Jendrassik elhagyta a fenti, Lèbre-féle ún. statikus nyomáscsere elvét, és áttért a nyomáshullámokkal való (ún. *dinamikus*) működtetésre, ahogy azt már Burghard is megálmodta, és Seippel a Comprexben elsőként megvalósította. A különbség abban áll, hogy a dinamikus esetben a járatok és a cellák között lényegesen nagyobb nyomáskülönbségeket állítanak be, ezáltal a nyitáskor hangsebességnél gyorsabb lökeshullám fut végig a cellán, s igen gyorsan komprimálja (vagy expandáltatja) annak tartalmát. Így a nyomásugrás nem – vagy csak alig – jár keveredéssel. A dinamikus elv egyúttal jobb hatásfokot is kilátásba helyezett. Az ilyen elvű gépet magyarul nyomásugrasztónak nevezzük.

Eme elv átvétele mellett Jendrassik bevezet azonban egy új, lényeges tökéletesítést is: a tüzelőteret úgy kapcsolja össze a nyomásugrasztóval, hogy az égés állandó térfogaton mehessen végbe. Ez további hatásfok-emelkedést ígér a gázturbináknál használt, állandó nyomáson való égéssel szemben.

A nyomásugrasztó *alkalmazása* tekintetében figyelme egyre inkább kiterjed a dízelmotorok feltöltésére is. E téren 1953-ban néhány lényeges szabadalmat nyújt be [19], kidolgozni azonban már nem tudja őket. Idejét ebben az időben főleg az köti le, hogy egyetlen (vagy időnként két) műszaki rajzoló segítségével megtervezze azokat a kísérleti gépeket, amelyekkel majd pontosan tisztázni lehet a nyomáshullámoknak a cellákban való viselkedését.

Ezekhez a kísérletekhez azonban sok pénz kellett volna, s úgy látszik, hogy a Power Jets nem tudta előteremteni a kellő anyagiakat. Több munkaerő bekapcsolására is szükség lett volna. Ebben a helyzetben Jendrassik 1953 derekán amerikai körútra indul, hogy támogatást szerezzen dízelmotort gyártó cégektől. Az amerikai út sikertelen, és nagy csalódást hoz.⁶ Utazásának egyetlen kézzelfogható eredménye az, hogy kísérleti célokra szerezni tud egy Hercules típusú hathengeres dízelmotort. Elhatározza, hogy erre a motorra, valamint egy szintén hathengeres Ganz-motorra töltöt tervez. Egyúttal folytatja egy 500 LE-s gázturbinához szánt nyomásugrasztó megtervezését is.

6 Az egyik ilyen megbeszélésnél jelen van Leslie Kovasznay (vagyis Kovásznay László) professzor, a későbbi neves turbulenciakutató. Ő 1980-ban így emlékezett: „Az amerikai tárgyaló felek egyszerűen nem voltak képesek megérteni a találmány lényegét! Nem hitték el, hogy ilyen szokatlan gép egyáltalán működhet. Jendrassik tragédiája az volt, hogy gondolatai messze a kor előtt jártak.”

A munka lassan halad. Az összes számítást egymaga végzi. A rajzolója által napközben elkövetett hibákat gyakran maga javítja ki – diszkrétan, este, otthon. Nehogy szemrehányást kelljen tennie neki...

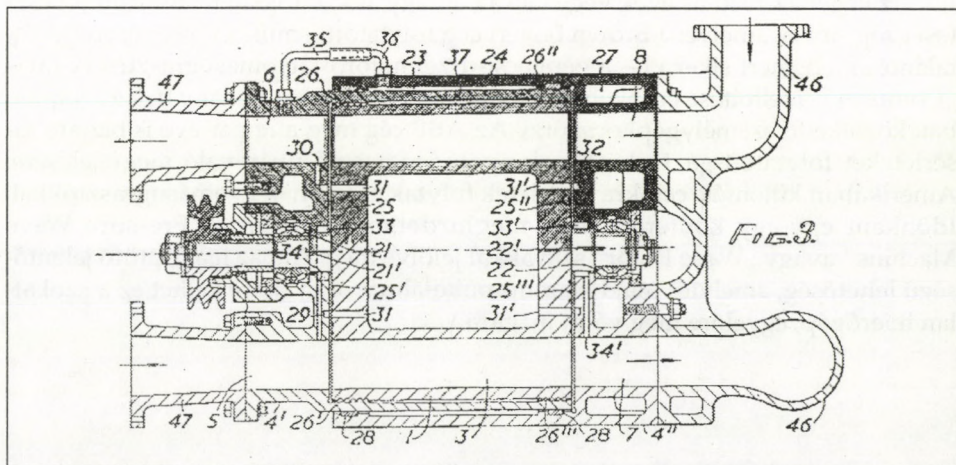
Minden elfoglaltsága és gondja ellenére is sok időt tölt családja körében. Számításait nagyrészt otthon végzi, egy picurka íróasztalon. Vékony légipostapapírt használ, hogy kevesebb helyet foglaljanak el az iratok. Nagybeteg felesége az utóbbi években sokszor kórházban fekszik. A háztartást anyósa vezeti. Ők nevelik anyósa két unokáját is. Néhány jó barátjuk él a közelben, köztük elsősorban Stein Andor, a Ganz-gyár volt igazgatója. Vele vitatja meg minden gondját és tervét.

Különben visszahúzódottan él. Erős fejfájásai állandóan kínozzák. A gyerekekkel szívesen, aranyos türelemmel foglalkozik. Ezeknek legkedvesebb emlékei közé ma is azok az improvizált, kémekről szóló, izgalmas mesék tartoznak, amelyeknek kitalált főszereplője egy bizonyos „Dr. Molotov” nevű kém és angol ellenfele, „Admiral Beatty” volt. A meséket nagybátyjuk bábszínházszerűen játszotta el nekik. Néha moziba is elviszi őket, vasárnaponként pedig sokat utazik velük a londoni autóbuszok felső szintjén.

Ügyfelei, munkatársai igen becsülik és tisztelik. Szerény, de meggyőző egyéniségevel, finom viselkedésével mindenütt rögtön bizalmat teremt. Udvariassága végtelen nagy volt („he was infinitely polite”) – emlékeztek vissza angol ismerősei. Halálát hirtelen szívrohamok okozzák, s 24 órán belül végeznek vele 1954. február 7-én. Váratlan csapás volt ez a család, barátai és műszaki ügyfelei számára.

A nyomásugrasztó további sorsa

Halála után a Power Jets tanácstalan volt. Számba vették a műszaki hagyatékot. Az 500 LE-s gázturbina nyomáscserélőjének számításai s az összeállítási rajzok is



11. kép. Szabadalmi rajz a teleszkópos házú nyomásugrasztóról [19]

készen voltak. Viszont hiányzott szinte az összes részletrajz. Minden számítást magyar szöveg kísért, ami éppenséggel nem könnyítette meg az angol illetékesek munkáját. Jobb volt a helyzet a két feltöltővel, ezek rajzai jobbra készen voltak.

Jendrassik utódjaként a Power Jets tanácsadóul fogadta Dr. Brian Spaldingot, a londoni Imperial College docensét, aki később többek között az áramlástechnika numerikus számításának terén szerzett maradandó érdemeket. Spalding áttanulmányozta a nagy köteg magyar iratot, és számos új lehetőséget fedezett föl (s szabadalmaztatott is) a nyomásugrasztók kialakítása és alkalmazása terén [20]. Az ő vezetése alatt épült meg a Jendrassik által megtervezett gép.

Ebben az időpontban (1957-ben) már elvégezték a fő méréseket a Ricardo intézet laboratóriumában, s megállapították, hogy a gép igen pontosan igazolja a számításokat. A Power Jets kiértékelő jelentése szerint az illetékesek erősen bíznak abban, hogy a nyomásugrasztóból ugyanolyan sokoldalúan használható hőerőgép lesz, mint a klasszikus gázturbinából [21]. Sikeresen végződtek egy hathengeres Paxman-motor feltöltési kísérletei is ugyanott. Ezekről egy tartalmas egyetemi diplomamunka készült. 1960-ban a Power Jets felméri a birtokában lévő nagy mennyiségű szabadalom értékét [18]. A kísérleteket azonban egyelőre nem folytatják, feltehetőleg pénz és licenciacvétel iránt érdeklődő cégek hiányában. Új alkalmazásként azonban megterveznek és leszállítanak néhány nyomásugrasztót aranybányák szellőztetése céljára Indiába és Dél-Afrikába [22].

1967-ben a Power Jets vállalat megszűnik, műszaki teendőit a dél-angliai Pyestockban székelő kutatóintézet, a National Gas Turbine Establishment veszi át. Itt fejezik be a kísérleti gépeken folytatott alapvető méréseket 1968 táján [23].

A nyomásugrasztó sorsa más államok más intézményeiben sem alakult sokkal jobban. Ez főleg annak tulajdonítható, hogy a gázturbina fejlődése töretlenül ívelt felfelé, előállítási költségei pedig mélyre zuhantak. A nyomásugrasztó nem váltotta be azokat a nagy reményeket, amelyeket olcsó előállíthatóságába vetettek. Így ért véget az 1980-as évek vége felé az a nagy áldozatokkal fenntartott fejlesztési program is, amelyet a Brown Boveri cég folytatott – műszaki szempontból általánosan elismert sikerrel – a gépkocsi-dízelmotorok nyomásugrasztós (vagyis „Comprex[®]”) feltöltése érdekében. E program emlékét ma néhány tízezer, Japánban közlekedő személygépkocsi őrzi. Az ABB cég még alig pár éve is biztató kísérleteket folytatott gázturbináknak nyomásugrasztó útján való megfejlesztésére. Amerikában különféle célokra kísérletek folytak és folynak nyomásugrasztókkal. Időnként egy-egy konferenciát is meghirdetnek, a témát a „Pressure Wave Machine” avagy „Wave Rotor” szavakkal jelölve meg. Ám az igazi, átütő jelentőségű lehetőség, amelytől majd Hamupipőke-álmából új életre kelhet ez a szokatlan hőerőgép, egyelőre még várát magára...

Jendrassik jelentősége

Mint láttuk, Jendrassik rövid élete alatt a hőerőgépek három igen különböző változatánál alkotott újat.

A dízelmotor terén alkotása maradandó, s hozzájárult a magyar ipar hírnevéhez és erősítéséhez. A gázturbina terén nagyot lépett előre, de a háború romba döntötte terveit. A nyomásugrasztót nehéz körülmények között próbálta sikerre vinni, s ezt nem bírta testi erővel. Ma – a gázturbina nemzetközi előretörésének hatodik évtizedében – már tudjuk, hogy milyen hatalmas anyagi befektetések szükségesek egy ilyen igényes gépfajta sikerre viteléhez.

Zárszóként hadd jellemezzem Jendrassik György egyéniségét! Életét szerintem a zsenialitás, a tragikum s a maradandó hatás jellemzik.

Zsenialitása, hogy az eredeti elgondolások terén igen sokoldalú és rendkívül termékeny volt; hogy elméleti éleslátása kitűnő gyakorlati érzékkel és nagyszerű konstruktőr-tehetséggel párosult; s az is, hogy kiváló munkatársakat válogatott össze, kitűnő munkalétkört teremtett számukra, és hatalmas teljesítményekre tudta őket sarkallni.

Tragikum, hogy – mint sajnos sokakét – alkotóereje teljében megtörte élete folyását a háború, s ami Magyarországon azután következett.

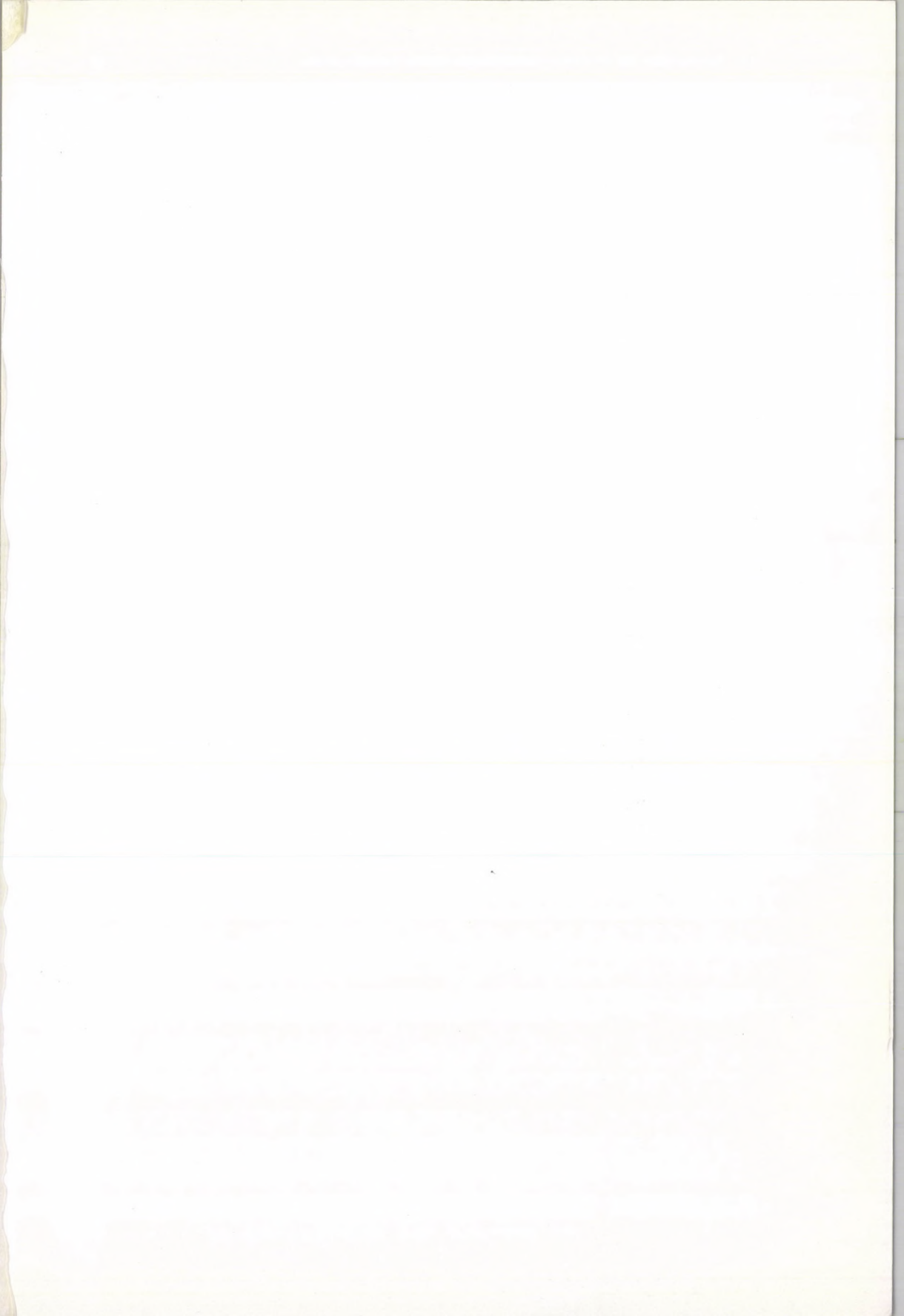
Jelentősége, hogy legfontosabb eredményeit Magyarországon érte el, s ezzel a hazai ipar fejlődését gyarapította.

Bár neve hazánkon kívül egy kicsiny szakemberkörön kívül maradandó módon alig vált ismertté, Magyarországon – mint azt éppen ma is érezhetjük – nagyra becsülik emlékét. Mint mérnök, mint munkatárs, mint felelősséget hordozó vezető, mint meggyőződéséhez és érzéseihez hű állampolgár s mint egyenes ember és hű barát – példakép lehet mindannyiunk s a majd helyünkbe lépő fiatalság számára is.

Irodalom

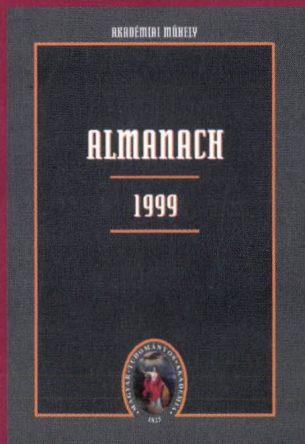
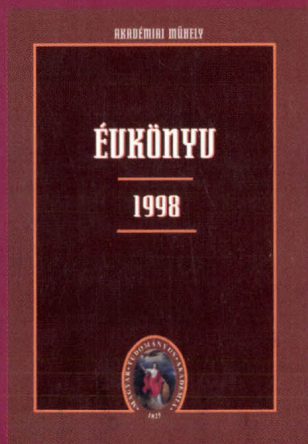
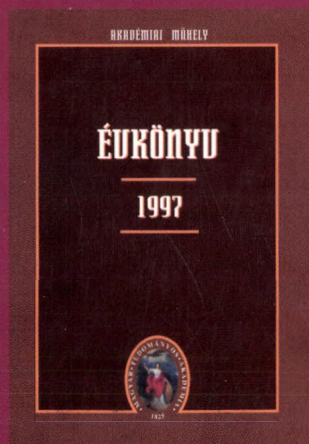
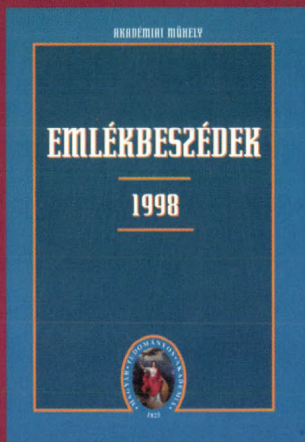
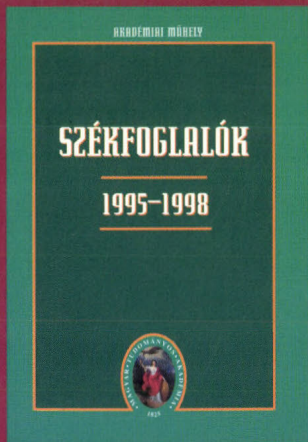
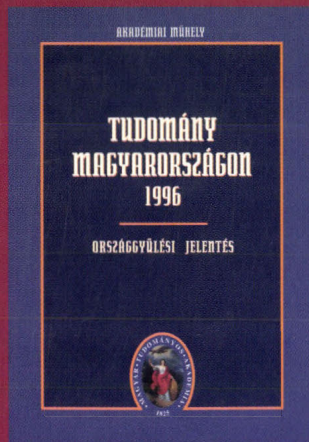
- [1] Gombás Tibor: Jendrassik György. In: Szőke Béla (szerk.): *Műszaki nagyjaink*, I. kötet. Gépipari Tud. Egy., Budapest, 1967. 141–209.
- [2] Terplán Zénó: *Jendrassik György*. A Múlt Magyar Tudósai sorozat, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1996.
- [3] Seippel, C.: The Development of the Brown Boveri Axial Compressor. *Brown Boveri Review*, 27, (May 1940) 5, 108–113. Bővebben: Seippel, Claude: Die Entstehungsgeschichte des vielstufigen Axialkompressors bei Brown Boveri. *Int. Notiz BBC TT7509*, 30 Juli 1974.
- [4] Keller, Curt: *Axialgebläse vom Standpunkt der Tragflügeltheorie*. Diss. ETH Zürich, Leemann-Verlag, Zürich, 1934.
- [5] Jendrassik György: Egy új gázturbina és gyakorlati eredményeinek ismertetése. *Magyar Mérnök-és Ép.-Egylet Közl.* 73 (1939) 19–20. 149–157.
- [6] The Jendrassik Combustion Turbine. *Engineering* (London), February 17, 1939, 186–188.
- [7] Jendrassik György: Versuche an einer neuen Brennkraftturbine. *Z. VDI*, 83 (1939) 26, 792–793.
- [8] Meyer, A.: The Combustion Gas Turbine: Its History, Development and Prospects. *Brown Boveri Review*, 26 (June 1939) 6, 127–140.

- [9] Seippel C., Pfenninger, H.: Besprechung mit Herrn Jendrassik. *Interne Notiz bei Brown Boveri*, 21. Aug. 1939.
- [10] Stodola, Aurel: Load Tests of a Combustion Gas-Turbine built by Brown, Boveri & Company, Limited, Baden, Switzerland. *Brown Boveri Review*, 27 (June 1939) 4, 79–83
- [11] The Gas Turbine Work of Mr. G. Jendrassik. *The Oil Engine and Gas Turbine*, 21 (1954) 434–436.
- [12] Brodsky Dezső: A gázturbina magyar úttörői. *Járművek, Mezőgazdasági Gépek*, 2 (1955) 6, 161–170.
- [13] Jendrassik György kéziratai (a szerző birtokában).
- [14] Grey, J. C.: The Jendrassik Pressure Exchanger. Power Jets (R. & D.) Ltd., Report No. 2010/AC. 2 – 2.1. 1950.
- [15] Burghard, Hans: Deutsches Patent 485 386 (22. Juli 1928).
- [16] Lèbre, Albert François: Deutsches Patent 626 926 (2. Aug. 1933).
- [17] (Seippel): U. S. Patent no. 2,399,394 (April 30, 1946).
- [18] Corin, C. J.: Assessment of the Pressure Exchanger Patent Holding of Power Jets (Research & Development) Ltd. and Associates. Power Jets (R. &D.) Ltd., Rept. No. 2259/Px.7. – 18th March, 1960; Addendum – 23rd March, 1961.
- [19] Jendrassik, G.: Schweizer Patent Nr. 330 610; GB Pat. 775 271 (priority date: Dec. 11, 1953).
- [20] Barnes, J. A., Spalding, D. B.: The Pressure Exchanger. *The Oil Engine and Gas Turbine*, 26 (1959), 364–366.
- [21] Roy C. Orford: The Historical Development of Pressure Exchangers. Power Jets (R. & D.) Ltd., Report No. 2239/x51 – 9th April, 1957.
- [22] J. A. Barnes (Imperial College, London) szóbeli közlése 1984-ben.
- [23] Beeton, A. B. P.: An Experimental Determination of the High Pressure Scavenge Performance of a Pressure Exchanger. NGTE Note No. NT 734, November 1968.



AKADÉMIAI MŰHELY

1997-ben az Akadémia vezetése úgy döntött, hogy könyvsorozatot indít „Akadémiai Műhely” címmel, amelynek feladata, hogy segítse Akadémiánk működésének rendszerességét, és egyben szervezze is az akadémiai fórumokat. El akarjuk érni, hogy az akadémiai székfoglalókat írásban is készítsék el tagtársaink, ezért jelentetjük meg azokat 1998-tól rendszeresen (*Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*). Erősíteni akarjuk a tudótestület tradícióit mint bennünket összetartó erőt és a tudományban a folyamatosság fontosságára figyelmeztető tényezőt. Ezért újítottuk fel az 1949-ben megszakadt emlékbeszédek hagyományát az Akadémia elhunyt tagjairól. Gondoskodni kívánunk ezek kiadásáról (*Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett*). Közreadjuk ezután a közgyűlések alkalmából elhangzott tudományos előadások szövegét (*Közgyűlési előadások*). Ezek mellett megindítjuk az Akadémia történelmében valahogy mindig elmaradt évkönyvsorozatot (*Az MTA Évkönyve*), és rendszeresen megjelentetjük az 1991-ben megszakadt, majd 1997-ben újraindított akadémiai almanachsorozatot (*Az MTA Almanachja*).



ISBN 963 508 155 3 ö

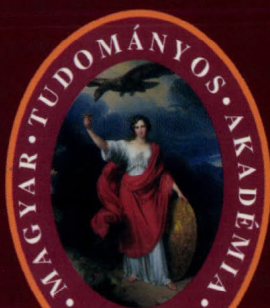


I-II. kötet: 1600 Ft

AKADÉMIAI MŰHELY

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK

1998



1825

AKADÉMIAI MŰHELY

Közügyűlési előadások

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

Beck Mihály, Glatz Ferenc (elnök), Hámori József, Ritoók Zsigmond

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁSOK, 1998

II. kötet

Közgyűlési előadások

1998

II. kötet

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

Budapest, 1999

Szerkesztő
GLATZ FERENC

Olvasószerkesztő
Pótó János

ISBN 963 508 155 3 Ö
ISBN 963 508 161 1
ISSN 1585–1915

Kiadja
a Magyar Tudományos Akadémia
Kiadásért felel: Szabó B. István
Kiadói szerkesztő: Burucs Kornélia
Nyomdai előkészítés: AbiPrint Nyomdai Szolgáltató Bt.
Nyomdai munkálatok: AKAPRINT Nyomdaipari Kft.
Felelős vezető: Freier László ügyvezető igazgató
Készült 22,75 B/5 nyomdai ívben, 1100 példányban

Tartalom

I. kötet

| | |
|--|----|
| Rendszeresség a szervezetben, új látásmód a gondolkodásban Előszó helyett (<i>Glatz Ferenc</i>) | 11 |
|--|----|

KÖZGYŰLÉSI ELŐADÁS

| | |
|---|----|
| KOSÁRY DOMOKOS: Európa és Magyarország 1848-ban | 15 |
|---|----|

NYELV- ÉS IRODALOMTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Petőfi- emlékülés

| | |
|--|----|
| MARGÓCSY ISTVÁN: Petőfi dilemmái | 27 |
| ZENTAI MÁRIA: Az epikus Petőfi | 39 |
| KÖPECZI BÉLA: A franciák Petőfije | 57 |
| SZATHMÁRI ISTVÁN: Petőfi nyelvi hatása | 63 |

FILOZÓFIAI ÉS TÖRTÉNETTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

„Zengjék vissza az időnek bércei, a századok”

(150 év mérlegén: 1848–49-es forradalom és szabadságharc)

| | |
|---|----|
| GERGELY ANDRÁS: Sikeres vagy sikertelen 1848-as forradalmak? | 79 |
| SZÁSZ ZOLTÁN: A nemzetiségek és az 1848-as magyar forradalom | 87 |
| HERMANN RÓBERT: Eredmények és feladatok 1848–1849. hadtörténetének kutatásában | 97 |

MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Konvex és kombinatorikus geometria

| | |
|--|-----|
| BÁRÁNY IMRE: Sylvester egy problémájáról | 111 |
| BEZDEK ANDRÁS: Egybevágó testek elhelyezésének sűrűségéről | 117 |
| IFJ. MAKAI ENDRE: Konvex testekhez hozzárendelt testek | 127 |
| PACH JÁNOS: Sík mezőben hármas út | 131 |

AGRÁRTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Élelmiszer-biztonság – kihívások – megoldások

| | |
|--|-----|
| NAGY BÉLA, SZMOLLÉNY GÁBOR, KOVÁCS SÁNDOR, BITAY ZOLTÁN: Salmonellák és salmonellosisok mint megújuló kihívások | 141 |
| FÜZI MIKLÓS: A BSE és a prion-betegség egyéb formáinak etiológiája és közegészségügyi megítélése | 149 |
| RAFAI PÁL: A mikotoxinok hazai előfordulása, a károk csökkentésének lehetőségei | 155 |
| FAZEKAS BÉLA: Fumonizin toxinok hazai előfordulása, állat- és humán-egészségügyi vonatkozásai I. | 163 |
| ZOMBORSZKYNÉ KOVÁCS MELINDA: Fumonizin toxinok hazai előfordulása, állat- és humán-egészségügyi vonatkozásai II. | 167 |
| BANCZEROWSKI JANUSZNÉ, VILÁGI ILDIKÓ, DÉTÁRI LÁSZLÓ, DÓCZI JUDIT, KUKORELLI TIBOR: Mikotoxinok az élelmiszerekben. Toxikus hatások, idegrendszeri változások biomonitorozása | 173 |
| KIRÁLY ZOLTÁN: A mezőgazdaság kemizálása és az élelmiszer-biztonság | 181 |

AZ ORVOSI Tudományok ÉS A BIOLÓGIAI Tudományok Osztályának együttes ülése

*Az orvostudományi egyetemeken működő támogatott kutatócsoportok
újabb eredményei*

| | |
|---|-----|
| KOSZTOLÁNYI GYÖRGY, MÉHES KÁROLY: Genom-instabilitás és emberi patológia | 193 |
| DE CHÂTEL RUDOLF: Új endogén diuretikus anyagok szerepe a keringés szabályozásában ép és kóros körülmények között | 197 |
| ROMICS LÁSZLÓ, KARÁDI ISTVÁN, CSÁSZÁR ALBERT, PROHÁSZKA ZOLTÁN, FÜST GYÖRGY: Az atherosclerosis keletkezésében szerepet játszó genetikai és immunológiai faktorok vizsgálata | 203 |
| NÁSZ ISTVÁN, ÁDÁM ÉVA, LENGYEL ANNA, DOBAY ORSOLYA, JENEY CSABA: Az adenovírus-kutatás új irányai | 213 |
| GERGELY LAJOS: Papilloma- és herpeszvírusok az emberi daganatokban | 225 |
| SZENDE BÉLA: A sejtszaporodás és a sejthalál szabályozását meghatározó tényezők a malignus daganatokban | 231 |
| BIRÓ SÁNDOR, SIPICZKI MÁTYÁS: Molekuláris genetikai kutatások a DOTE-MTA Mikrobiális Fejlődésgenetikai Kutatócsoportnál | 241 |

| | |
|--|-----|
| VEREB GYÖRGY, JENEI ATTILA, DAMJANOVICH SÁNDOR: | |
| Sejtfelszíni receptorstruktúrák láthatóvá tétele élő sejteken | 251 |
| SPÄT ANDRÁS: A kálium ion sejtaktiváló hatásának mechanizmusa | 265 |
| ÁDÁM VERONIKA, TRETTER LÁSZLÓ, CHRISTOS CHINOPOULOS: | |
| A központi idegrendszeri neuronok funkciózavarai oxidatív stresszben | 271 |
| SOMOGYI BÉLA: A POTE Biofizikai Intézetében működő tanszéki | |
| munkacsoport munkája (1996–1998) | 279 |
| SÉTÁLÓ GYÖRGY: Neuropeptiderg rendszerek és neuropeptid analógok | |
| szerkezet-hatás kutatása | 287 |
| HALÁSZ BÉLA: Észleleteink a septum és a hypothalamus felépítéséről | |
| és a gonádok agyi kapcsolatairól | 293 |
| TÓTH IDA E., PALKOVITS MIKLÓS: Idegpályák feltérképezése | |
| vírusok segítségével | 297 |
| TELEGDY GYULA: A nitrogén-monoxid szerepe a tanulási | |
| és memóriefolyamatok szerveződésében | 301 |
| KNOLL JÓZSEF: A deprenyl-kutatás új eredményei | 305 |
| SZOLCSÁNYI JÁNOS: Capsaicin és a nociceptív primer afferens | |
| neuronok farmakológiája | 311 |
| TRÓN LAJOS: Funkcionális agyi vizsgálatok pozitronemissziós | |
| tomográfiával | 317 |

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

Jendrassik György (1898–1954) emlékülés

| | |
|---|-----|
| TERPLÁN ZÉNÓ: A Jendrassik-életpálya | 329 |
| CZIBERE TIBOR: A Ganz–Jendrassik-motorok jelentősége | 335 |
| GYARMATHY GYÖRGY: A Jendrassik-gázturbina és -nyomáscserélő | 345 |

II. kötet

A MŰSZAKI, A MATEMATIKAI, AZ ORVOSI, A KÉMIAI, A GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK VALAMINT A FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK együttes ülése

A modern élet kockázatai, a kockázat csökkentésének és elhárításának lehetőségei

| | |
|--|-----|
| SZABADVÁRY FERENC: Kis történeti áttekintés a környezeti ártalmakról | 377 |
| MARX GYÖRGY: Születni veszélyes | 383 |

| | |
|--|-----|
| VAJDA GYÖRGY: A villamosenergia-ellátás társadalmi kockázata | 405 |
| SZÉKÁCS ANDRÁS: A növényvédő szerek mint a modern élet kockázati tényezői | 417 |
| BESZNYÁK ISTVÁN: Műteti kockázatok | 431 |
| BORVENDÉG JÁNOS: A gyógyszerfogyasztás kockázatai | 437 |
| BÉNYEI ANDRÁS: Közlekedési kockázatok | 443 |
| ZSUFFA ISTVÁN: Árvizek okozta kockázatok | 451 |
| DULÁCSKA ENDRE: Tartószerkezetek, földrengéskockázat | 461 |
| MAGYAR JÓZSEF: Gépészeti rendszerek kockázatai | 473 |
| MÁLYUSZ KÁROLY, TUSNÁDY GÁBOR: A kockázatok matematikai kezelése | 485 |
| LAMM VANDA: A nukleáris energia hasznosításával kapcsolatos kockázatok és a jog | 493 |

BIOLÓGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózat

| | |
|--|-----|
| A Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózat Összefoglalta: BORHIDI ATTILA | 503 |
|--|-----|

GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A magyar társadalomtudományok válasza a századvég kihívásaira

| | |
|--|-----|
| SIMAI MIHÁLY: A globalizáció és a társadalomtudományok | 521 |
| KULCSÁR KÁLMÁN: Az euro-atlanti integráció mint politikai probléma | 537 |
| ENYEDI GYÖRGY: A regionális és a városfejlődés kihívásai | 547 |
| SZABÓ ANDRÁS: Társadalmi zavarok, devianciák, erőszak, bűnözés és a társadalomtudományok válaszai | 557 |

FÖLDTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A Föld fejlődése és dinamikája

| | |
|---|-----|
| MÉSZÁROS ERNŐ: A különleges bolygó: a Föld | 569 |
| MESKÓ ATTILA: Áramlások a köpenyben és a magban: néhány következmény | 575 |
| BÁRDOSSY GYÖRGY: Hegységképződés és lemeztektonika | 581 |
| CZELNAI RUDOLF: Légkör-óceán kölcsönhatások (El Niño) | 595 |

| | |
|---|-----|
| GÖTZ GUSZTÁV: A légkör dinamikája: rend és káosz | 601 |
| ÁDÁM JÓZSEF: A Föld dinamikai jelenségeinek vizsgálata korszerű kozmosz geodéziai mérés technikák alkalmazásával | 609 |
| GÉCZY BARNABÁS: Az élővilág fejlődésének nagy eseménye: a levegő meghódítása | 631 |

FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A fizikai fejlődés irányai

| | |
|---|-----|
| BIRÓ TAMÁS SÁNDOR: A kvarkanyag hadronizációja | 641 |
| SOMORJAI ENDRE: Protonban gazdag magok szintézise az univerzumban | 649 |
| RONTO GYÖRGYI: Ultraibolya (UV) dozimetria és űrbiológia | 653 |

A lézerfizika újabb eredményei

| | |
|--|-----|
| VARRÓ SÁNDOR, FARKAS GYŐZŐ: Diszkrét szerkezetű elektron- és fény spektrumok megjelenése szuperintenzív lézerterekben | 661 |
| KÖRMENDI FERENC, FARKAS GYŐZŐ: Multi-GeV-os lézergyorsítók és TW/cm ² -es röntgenlézerek | 669 |
| JANSZKY JÓZSEF, KONIORCZYK MÁTYÁS, KIS ZSOLT: Kvantumteleportáció | 673 |
| BAKOS JÓZSEF: Atomok hűtése lézerrel | 683 |
| SZÖRÉNYI TAMÁS: Lézerek mikroelektronikai alkalmazása | 695 |

Szilárdtestkutatás – 1998

| | |
|--|-----|
| JÁNOSSY ANDRÁS: Antiferromágneses domének YBa ₂ Cu ₃ O _{6+x} rendszerben | 709 |
| KOLLÁR JÁNOS: Szilárd testek stabilitásának „ab initio” számítása | 711 |
| BORTEL GÁBOR, FAIGEL GYULA, OSZLÁNYI GÁBOR, PEKKER SÁNDOR, TEGZE MIKLÓS: „Nobel-díjas molekulák” polimerei | 713 |
| GROMA ISTVÁN, BAKÓ BOTOND, BALOGH PÉTER: Sztohasztikus diszlokáció-dinamika | 715 |
| MENYHÁRD MIKLÓS: Kis energiájú ionbombázás által indukált változások a felület közelében | 717 |

**A MŰSZAKI, A MATEMATIKAI, AZ ORVOSI,
A KÉMIAI, A GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK
VALAMINT A FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK**
együttes ülése

**A MODERN ÉLET KOCKÁZATAI, A KOCKÁZAT CSÖKKENTÉSÉNEK
ÉS ELHÁRÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI**

Kis történeti áttekintés a környezeti ártalmakról

Nem egyszerű feladat a környezetrombolás, helyesebben a természetrombolás történetéről szólni. Azért nem használom szívesen a környezetrombolás szót, mert az egy fiatal – talán évszázados – kifejezés, valamikor a háború után tűnt fel először, s úgy érzem, kissé csökkenti a dolgok jelentőségét, hiszen a környezet kisebb, mint a természet. A természetrombolás pedig bizony azóta létezik, amióta az ember feltűnt ezen a jól kialakított földgolyón. Hogy létezni tudjon, szükségszerűen a természetből kellett ennek szükségleteit biztosítani.

Persze ez sokáig nem okozott problémát: nagy volt a természet, és kevés az ember. A fáknál, erdőnél tűnt fel először a baj. Hiszen rengeteg fára volt szükség már az ókor és középkor folyamán is, az építkezésekhez, a tüzeléshez, a faszénkészítéshez, továbbá a kereskedelemhez és kiváltképpen a hajózáshoz. A Velencei Köztársaság hajóépítői például Dalmácia erdőit annyira kiirtották, hogy máig is kopár a Karszt, az egykori magyar tengerpart. Ennek szomorú tapasztalatai késztették a Köztársaságot, hogy a 15. században megtiltsa – legalábbis saját birtokain – a fakitermelést. A Kárpátok is súlyos faveszteséget szenvedett a 16–18. században, elsősorban a vasgyártás faszénigénye miatt, de a textilipar is nagy igénylő lett. A nyers vászon sárgás. A takácsok úgy fehéritették, hogy kiterítették a napra a nyers lepedőket, és tejjel meglocsolták azokat. De a feltalált textilgépek több vásznat termeltek, hogysem ez a módszer jó lett volna. Valaki rájött, hogy ha felváltva híg kénsavba, ill. hamuzsír oldatába meregetik a vásznat, az fehéredik. Fa bőven volt Amerikában, az ottani francia gyarmatokról hozták a hamuzsírt, amely – mint tudjuk – a fahamuban található. Am kitört a francia–angol háború, s az angol flotta szokása szerint megakadályozta a kereskedelmet. Ekkor kezdte meg a francia ipar hamuzsír-szükségletét Magyarországról biztosítani. Ennek nyomát egykori kárpáti erdőségeink még máig is viselik. Mária Terézia már rendelettel próbálta megakadályozni a felelőtlen fairtást. A faigény azonban tovább pusztította az erdőségeket. Jelenleg az Amazonas erdei vannak soron. Úgy mondják a szakértők és erdővédők, ez az utolsó jelentős erdőterep Földünkön, nem szabad hagyni az ottani fairtást. „Hát hova lettek a ti hatalmas erdeitek? Nektek

lehetett ott Európában irtani, de nekünk itt nem?” – kérdezik a brazilok. És persze folyik tovább az irtás, mert sajnos a pénz a világ ura és a természetpusztítás legfőbb oka – nem csak az erdők ügyében.

Térjünk át most a vízre és levegőre, melyek nélkülözhetetlenek az emberi létezés számára. Ezeknél nem is az volt az aggasztó az elmúlt századokban, hogy elfogynak. Nem a mennyiséggel volt, illetve van a baj, hanem a minőséggel. Ennek romlása pedig sok helyütt már elég régen észrevehető volt. Már az ókor városaiban is többnyire szabály volt, hogy a bűdösen termelő iparosok, mint a tímárok, szappanfőzők, kendergyártók, kovácsok, csak a városokon kívül művelhetik iparukat, s ez a középkorban is szabály maradt. A víz szennyezését még az is fokozta, hogy az állati, emberi hulladékot, beleértve különösen a fogyasztásra levágott állatok fölös részeit, a vért és hasonlókat, egyszerűen a folyóvízbe dobálták. Ezt a szokást számos város törvényei tiltották vagy legalábbis szabályozták. 1368-ban pl. Párizs városának tanácsa úgy rendelkezett, hogy vért csupán a város alatt szabad a Szajnába eresztetni. Az angol parlament 1388-ban pedig már úgy rendelkezett, hogy tilos bármiféle hulladékot, szennyet a folyókba engedni. A levegővel akkor még sokkal kevesebb baj volt. A bányákban ugyan súlyos veszélyeknek voltak kitéve a bányászok, de hát ez volt a mesterségük, hisz még ma sem veszélytelen e szakma. A föld felszínén legfeljebb a füsttel volt baj. I. Edward angol király ugyan 1307-ben megtiltotta, hogy Londonban kőszénnel fűtsenek, de elsősorban azért, mert a feleségét zavarta ennek füstje. De a példaként felhozott adatokat, levéltárakban található, e kérdésekkel foglalkozó rendeleteket, határozatokat mai nyelven inkább sorolhatnánk az egészségvédelem témájához, mint a környezetvédelemhez, bár a kettő valamiképp mindenütt összefügg.

Mielőtt azonban továbbmennénk az újkor felé, maradjunk még kissé a régiebb korokban egy megjegyzés erejéig. Nevezetesen minden, amit épített és épít az ember, az rombolja a természetet. A piramisok, a gótika csodálatos katedrálisai vagy a mai csúf bevásárlóközpontok mind elvittek, illetve elvisznek valamit a természetből. A városok maguk is. Minél nagyobbak lesznek, annál többet. Az emberek javára persze, de nemegyszer kárára. Szóval a társadalom létezése és fejlődése szükségszerűen a természet kárára megy. De nincs más lehetőség. Az embernek azért van agya és esze, hogy tudja azt mind a természet ellen használni, mind annak érdekében.

Földünk nagy része víz. A víznek igen nagy, valószínűleg a legnagyobb a jelentősége van az emberiség számára. Életet ad a természetnek, a mezőgazdaságnak, de szabadjára eresztve el is pusztíthat mindent. A vizek szabályozása alapvető feladat volt már az ókorban, és az maradt napjainkig. És kiszámíthatatlan. Termékennyé tették a csatornák Mezopotámia és Észak-Afrika földjét az ókorban, ellátták Rómát élelemmel – és ma sivatagok. Nekő fáraó (Kr. e. 600 körül) megépítette már egyszer a Földközi- és Vörös-tenger közti csatornát, aztán az eltűnt, hogy több mint két évezred múlva újra megépítsék. Számtalan vízmű és duzzasztógát szabályozza napjainkban eredményesen a nagy folyók vizét s

velük együtt az azt környező élővilágot. Sok hasznos példát találunk erre. De a fordítottjára is gondolunk, a Nasszer-féle, nagy szovjet segítséggel épített asszuáni egyiptomi Nílus-gát, mely inkább tönkretett, mint használt. Egy híres professzor azt mondta, hogy bár ősrégi dolog a vízszabályozás, de talán a legresz-kértebb dolog a természet átalakításában.

Az ipari forradalom igen nagy változásokat hozott a társadalomban. A technika, a gépek megváltoztatták a termelés minőségét és mennyiségét, a városok képét s a társadalom összetételét. Továbbá felgyorsította a környezetrombolást, elsősorban a füst révén, amelyet az erdők fogytával főleg a vaskohászatban felhasználás okozott. Az ipari fejlődés rendkívül gyors volt. A vezető ipari hatalom, Anglia városai szinte elmerültek a füstben a 18. században. Egy múlt századi német utazó így írt egy angol városról: „A száz kémény által okozott füst ránehezedett a városra, és ezért egész télen sötétség borította azt. Olyan volt, mintha az Északi-sarkon élne az ember.” Egy másik utazó írása szerint a vízzel sem volt jobb a helyzet: „Az összekötő csatornából szolgáltatott folyadékot aligha lehet víznek nevezni. Fekete, félfolyékony, szinte egy helyben álló pocsolya, melynek buborékait meg lehet gyújtani.”

Eszembe jut Varga József professzor mondása, melyet vagy fél évszázada, a kémiatechnológia-órán mondott nekünk: „Ha így halad a technika fejlődése, akkor néhány száz év múlva a víz és a levegő lesznek a legértékesebb nyersanyagok!” Hát, bekövetkezhet ez előbb is, ha így fejlődünk tovább!

Amikor Varga professzor ezt mondta nekünk, a Dunán az Erzsébet-híd mellett volt egy fából készült, bekerített uszoda. Abban én is fürödtem még hallgatóként. A Római-parton még akár inni is lehetett a Duna vizéből. Azóta látjuk, hogy mennyit változott. De legyünk optimisták! A Temze, a Rajna jóval a Duna előtt és annál sokkal jobban szennyezett volt. A halak teljesen eltűntek. Ma már újra ott vannak. London híres volt örökös füst által okozott ködéről, ma szépen süt benne a nap. Lehet tehát segíteni a vízen és levegőn.

A füstökádó gőzgépek, mozdonyok mellett feltűntek a gázmotorok. Az ásványolajat ugyanis nem kellett feltalálni, csak megtalálni. Megjelent az autó, és igen gyors karriert csinált, különösen Amerikában. New York város tanácsa századunk elejére nagyon sokat várt az autóközlekedéstől. Mert nagyon nagy volt már e világvárosban a forgalom. Nyüzsögtek a lovak vontatta hintók és társzekerek. S a lovak bőségesen hagyták az utcán nyomukat. Sok utcaseprőt kellett alkalmazni a város tisztán tartására. Úgy vélték, hogy az autó révén ez megtakarítható. Ez biztos így lett akkor, ám azóta tudjuk, hogy az autónak is vannak káros hatásai, talán veszélyesebbek is az emberre, mint a lovakéi.

Minden évszázadnak megvan a környezetromboló főbűnöse. Ma a kémia tekintendő annak. Azt szidja mint fő természetrombolót természetvédelem és média. A kémia egy sajátágos természettudomány, különbözik az összes többitől. Mert míg a többi természettudomány a természetet csupán vizsgálja, kutatja, a kémia az egyetlen, amelyik új, a természetben elő nem forduló anyagokat tud előállítani. E képessége már régi. Az első ilyen laboratóriumban „gyártott”, a termé-

szetben nem előforduló anyagok az ásványi savak voltak, alkimista találmányok úgy az 1000 körüli időből. De igazi jelentőségre a kémiának „új anyagteremtő” képessége csak a múlt században jutott, a szintetikus szerves kémia kutatásával. A technikai fejlődés előrevisz, ront is, aztán a rontás néha megint csak fejlődést eredményez. Megint vissza kell mennünk a vasgyártáshoz. A kőszén csak akkor vált használhatóvá e szakmában, miután feltalálták a kokszolást. Ennek folyamán viszont meggyújtható és elégő gázok fejlődtek. Persze hogy eszébe jutott egy kutatónak, nem lehetne-e ezeket világításra használni. Lehetett. Csakhamar a világítógáz lett a főtermék. Egymás után alapították a gázgyárakat. A szén száraz lepárlása és a gázok eltávozása után ott maradt egy szurokszerű, természetszennyező kosz. Csak úgy gyűlt a gyárak mentén. Egy kémikus, Hoffmann elkezdte ezt piszkálgatni, vizsgálni, hogy mi is van benne. Talált is benne addig ismeretlen anyagokat, például az anilint. Ha egy tudós ígéretes témát talál, rákap erre. Hoffmann is az anilinkutatásra állította tanítványait. Az anilin származékai közt sok volt a színes, hiszen saját maga is színes volt. Egy fiatal munkatárs, Perkin, szép sárga oldatot nyert egyszer (1856), beleejtette zsebkendőjét. Maradt a szín. Akkor ez jó lesz textíliák festésére! Megnyitott egy üzemet, mely újfajta textilfestékeket gyártott. Sikeres volt. Így alakult meg a szintetikus szerves nagyipar. Rohamosan fejlődött a kutatás s vele együtt a szerves kémiai nagyipar, amely aztán mindig újabb és újabb színezékeket követelt, hiszen a divat gyorsan változik. Sok mindenre bizonyult használhatónak a gázszurok. Textilfestő anyagokként olcsóbbnak is bizonyultak a természetes színezékeknel. Aztán sok más is kiderült a szerves szintetikus laboratóriumokban. Például hogy egyes mesterséges termékek lázcsillapító hatásúak. Az első ilyet Knorr állította elő (1883), de annál sokkal hatékonyabb volt az 1899-ben szabadalmazott aszpirin. Ma is használjuk, ma is gyártják, s ma is védett a neve. Mi is tudunk aszpirint gyártani, de át kell keresztelnünk Kalmopyrinre, Istopirinre és hasonlókra.

Igen gyorsan kialakult a hatalmas vegyi nagyipar. Ezer és ezer új gyógyszert, színezőanyagokat, mezőgazdasági növényvédő szereket, műanyagokat gyártott. Ezer és ezer ma már nélkülözhetetlen anyagot. Ám a vegyipar hasznosanyaggyártása sok mellékterméket is produkál, melyek közül számos veszélyes az emberre és természetre. Nagy probléma ezeknek a melléktermékeknek a megsemmisítése vagy legalábbis ártalmatlanítása. Persze nem úgy, hogy eldugjuk azokat valahol a természetben, Garén vagy Vácánál, vagy eladjuk és elszállítjuk a szegényebb szomszédnak, találja ki ő, otthon, saját hazájában, hogy mit lehetne feltűnés nélkül kezdeni vele. A műanyagokkal is rengeteg a probléma, elborítják a Földet. Most már azt kell kutatni, hogy lehetne azokat megsemmisíteni. Bizony a vegyi vagy radioaktív hulladékok tárolása, megsemmisítése még messze nincs megnyugtatóan megoldva. Nem is lesz egyhamar. Talán legjobb lenne hulladék-szállító úrhajókat fellőni és így megszabadulni e gondtól. Hiszen ott fenn annyi hely van, annyi bolygó és csillag kering teljesen „üresen”! Nem is érti az ember, hogy minek vannak, mi célból lettek. Háttha a mi hulladékunkból indul meg ott majd az élet?

Ember és természet együtt él a Földön, együtt is kell élnie, hiszen vele és belőle élünk. S nekünk ezért nagyon kell a természetre ügyelnünk. Ne dicsekedjünk, mint egykori szovjet tudósok és ideológusok, avval, hogy „legyőzik a természet”, vagy pláne, mint annyiszor hallhattuk apró kis eredmények után, hogy már sikeresen halad a természet legyőzése az ember által. Mert az bizony végzetes baj lenne, mi is belevesznénk. Ne törekedjünk erre!

MARX GYÖRGY

Születni veszélyes

Az aggódás kora

Aki megszületik, egyszer – valamilyen okból – meg is fog halni. Zérus kockázat éppúgy nem létezik, mint végtelen hosszú földi élet. Ezért a valószínűség és a kockázat kvantitatív megértésének a mai állampolgárok számára a demokratikus választások, döntések meghozatalához elengedhetetlen alpműveltség részévé kell válnia – érvelt Kemény János, aki a mindenki számára érthető BASIC számítógépnyelvet meg az e-mailt egyeteme minden hallgatója részére bevezette, és akit Carter elnök a harrisburgi reaktor-üzemzavar kiértékelésére fölkért.

– Ha úttesten megy át, előbb balra nézz, majd az úttest közepén jobbra – szoktuk oktatni gyermekeinket, de nem tesszük hozzá: – Nézz fölfelé is, épp nem dől-e rád egy kémény, vagy nem zuhan-e fejedre egy repülő. – Pedig utóbbinak is zérustól különböző a valószínűsége! Az Egyesült Államokban például minden évben meghal egy-két ember a rázuhanó repülőgéptől, az ilyen halál kockázata (ott) 1/100 000 000 év körül járhat. Ezt köznapi tapasztalat alapján elhanyagolhatónak (értsd: gyakorlatilag zérusnak) ítélik.

A kockázat (rizikó, riszk – mint „reszkíroz”) matematikai értelmezése a következő: $R = W \cdot K$, ahol W a bekövetkezés valószínűsége, K pedig a következmény súlyossága. (Bizonyosság esetén $W = 1$. Halálesetben $K = 1$.) A valószínűség értelmezése szerint, ha N személy mindegyikét ugyanakkora R kockázatnak tesszük ki, akkor a kollektív kockázat (a várhatóan okozott halálesetek száma) $N \cdot R$.

Hogy egyszerűen beszélhessünk, vezessük be a mikrorizikó fogalmát: ez $R = 1/1\,000\,000$ kockázat. Ha egymillió embert egy mikrorizikó kockázatnak tesznek ki, akkor 1 halálos áldozat várható. Nemzetközi megítélés szerint ekkora kockázattal jár

2500 km

2000 km

80 km

65 km

12 km

3 km

utazás vonaton,

utazás repülőn,

autóbuszon,

autón,

kerékpáron,

motorkerékpáron,

egy cigarettát elszívni,
két hetet dohányossal együtt élni,
fél liter bort meginni,
tíz napot téglaházban lakni,
három napig Budapest belvárosában lélegezni,
két percig sziklát mászni,
öt éven belül méhcsípéstől szenvedni,
tíz éven belül villámcsapást kapni.

Az adatokat nézve és a közvélekedéssel egybevetve látható, hogy az emberek egy mikrorizikót teljesen elfogadhatónak tartanak. Ezt tükrözi pl. az amerikai Kongresszus azon gyakorlata, hogy 1 mikrorizikó kockázatot még nem tekintenek figyelemre méltónak.

1987-ben Kalifornia állam népszavazáson 2/3 többséggel elfogadta az *Ismeret Joga* néven emlegetett törvényt, amely többek közt kimondja, hogy „Egy embert sem szabad tudva vagy tudatlanul olyan kémiai hatásnak kitenniünk, amely rákos vagy genetikai károsodást okoz, anélkül, hogy e veszélyre előzőleg felhívnánk a figyelmét.” No de mi volna a zérus kockázat? A fizikus talán azt felelné: Amit nem tudok kimutatni. (De miért nem dolgozol ki pontosabb módszert?) Végül a kaliforniai jogászok abban állapodtak meg, hogy $R_{\max} = 10$ mikrorizikó a figyelmeztetés nélkül maximálisan okozható kockázat mértéke. Ezért kell minden pakli cigarettára rányomtatni a figyelmeztetést: „A dohányzás káros az egészségre.”

10 mikrorizikó kockázat önmagában kicsinek tűnhet, annak már többször kitettük önmagunkat. De kiszámíthatjuk a *kollektív kockázatot*. Ha a Kaliforniában jogilag megengedett $R_{\max} = 10$ mikrorizikó a figyelmeztetés nélkül maximális kockázat pl. egy ország 10 milliós lakosságának ($N = 10^7$) minden egyes egyedét éri, ez $N \cdot R_{\max} = 10^7 \cdot 10^{-5} = 100$ várható halálesetet jelent. A fent megengedett kockázat ebben a megvilágításban nem is tűnik olyan csekélynek. A kockázatbecslések publicisztikai *tálalásának* kétféle lehetősége nagy kísértést kínál a közvélemény újságírói manipulálására. Pl. a harrisburgi reaktor-üzemzavar alkalmával a radioaktivitást nem engedte kiszabadulni a megerősített bezáró épület. A használhatatlanná vált reaktor megtisztításakor azonban a kémiaiilag megfoghatatlan aktív nemesgázok kikerültek a légkörbe. A környező négy millió lakost érő többlet-sugárterhelést az egyik lap így kommentálta: *A rákveszély megnövekedése nem több, mint ha fél cigi elszóvnál egy alkalommal.* (Ugye milyen megnyugtató?) Egy másik újság így írt: *A technokrata felelőtlenség várhatóan két ártatlan polgár életébe kerül.* (Ugye milyen szörnyű?) Csak szorozni kell tudnunk: A két közlés matematikailag egyenértékű!

Kérem tehát azokat, akik a modern élet veszélyeiről értekeznek, akik ezeket az adatokat olvassák, írástudói felelősséggel idézzék azokat. Nem egyetlen kiragadott szám viszonyítás nélküli hangoztatására, hanem racionális értékelésre kell ma nevelni hazánkban. Európaivá kívánunk válni. A magyar népnek és választott döntéshozóinak komoly elhatározásokat kell tennie a közeljövőben. Felelős választásra csak erre felkészült, erre előkészített, a feltett kérdés reális alterna-

tívaít felfogó és racionálisan dönteni képes állampolgárok közössége vállalkozhat.

Nem minden foglalkozás kockázatmentes. A kereskedelmi szakmában vállalt kockázat mindössze néhány mikrorizikó évente. Gyárakban már 10–100 mikrorizikó/év. A közlekedésben és építőiparban 400 mikrorizikó/év. A szénbányászatban 800 mikrorizikó/év. Elektromos távvezeték építésénél 1200 mikrorizikó/év. Tengeri olajkutakon dolgozva 1500 mikrorizikó/év. Mélytengeri halászoknál 1800 mikrorizikó/év.

Az Egyesült Államok elnökének (így merénylők céltáblájának) lenni több ezer mikrorizikó/év. Mégis akadnak ilyen munkát vállalók – megfelelő kompenzáció fejében.

Az átlagos honpolgárnak néhány mikrorizikó kockázattal kell szembenéznie. Itt rejlik az egyik bökkenő. Tegyük fel, egy cselekedet kockázatáról el kívánjuk dönteni: kisebb vagy nagyobb, mint egy mikrorizikó? Ehhez egymillió főt kellene ekkora ártalomnak kitenni, közben figyelni: meghal-e közülük 1 ennek a cselekedetnek a következtében? De statisztikáról, valószínűségről van szó, ahol N átlagesemény szórása $N^{1/2}$. Ha tehát megelégszünk 10% pontossággal, akkor $R = 1$ mikrorizikó kimutatásához 100 millió embert kellene kitenni a kérdéses kockázatnak, és figyelni, meghal-e közülük 100 ± 10 . Ilyen kísérlet elvégzése gyakorlatilag és erkölcsileg egyaránt megvalósíthatatlan. Azt kellene tehát mondanunk, *értelmetlen* $R \leq 10$ mikrorizikó értékekről beszélni. Két kiút van: szándéktalan baleseteknél (dohányzás, röntgenorvosok, fejlődő világ) vagy katasztrófáknál (Hirosima, Csernobil, Bhopal) utólag rekonstruálni lehet a hatásokat és elemezni a következményeket. (Nyilvánvaló a pontatlanság.) Egyes embereket súlyos baleset miatt erős (halálos kimenetelű) behatás ér, ebből a hatás és következmény arányosságát feltételezve próbálhatunk extrapolálni gyenge behatások alacsony kockázataira. (Megvizsgálandó az arányosság feltételezésének természettudományos jogosultsága.) Vagy baktériumok milliárdjaival, fehér egerek ezreivel lehet kísérletezni; ekkor az *élőlény* = ember azonosságot, valamint az arányosságot feltételezve lehet levonni a következtetést. (De tudjuk: a csótány vagy saláta sugársérülékenysége nagyságrenddel kisebb az emberénél. Az egér viszont ezerszer kisebb és százszorta rövidebb életű, mint az ember, mégis az egerek ugyanakkora hányada hal meg rákban, mint az ember. Ebből az következne, hogy az emberi sejtek összessége rák ellen 100 000-szer jobban védett, mint az egéré. Mégis fehér egereken próbálják ki, hogy egy vegyszer, tartósító, orvosság bevezetése jelentene-e humán rákkockázatot.)

Alvin Weinberg idézte, hogy a társadalomban értéshiány okozta érzelmi félelem hatalmasodott el az ipari és műszaki forradalom veszélyeivel kapcsolatban, annak ellenére, hogy az ipari forradalom kibontakozása óta az átlagos emberi életkor kétszeresére nőtt az iparosodott országokban, jelenleg kétszerese a fejletlen (ipar által „még nem veszélyeztetett”?) országokban tapasztalt átlagos életkornak. (Hazánkban a születéskor várható időtartam 1900 óta 35-ről 70 évre emelkedett.) Ezért beszél ő a jelen (egyébként meglepően békés) évtizedekről mint az *aggódás koráról*. Az aggodalom egyik összetevője az ismerethiány és a racionálisan reális gondolkodásban való iskolázatlanság.

Félünk, hogy szándékos gyilkosság áldozatává válhatunk. A statisztikai adatokat kockázatra átszámítva:

| | | |
|--------------------------------------|------|----------------|
| Magyarországon gyilkosság | 30 | mikrorizikó/év |
| Az Egyesült Államokban gyilkosság | 100 | mikrorizikó/év |
| Oroszországban gyilkosság | 250 | mikrorizikó/év |
| Magyarországon öngyilkosság | 490 | mikrorizikó/év |
| dohányzás okozta halál, Kína | 500 | mikrorizikó/év |
| dohányzás okozta halál, világátlag | 1000 | mikrorizikó/év |
| dohányzás okozta halál, USA | 2000 | mikrorizikó/év |
| dohányzás okozta halál, Magyarország | 3000 | mikrorizikó/év |

Aki fél a gyilkostól, vigyázzon: a legvalószínűbb tettes önmaga! A realitás egyik eleme az a tény, hogy végül is valahogy meghalunk. 10 millió főből évente többen meghalnak különféle okból:

| | |
|---|---------------|
| szívbetegség | 36 000 |
| egyéb keringési betegségek | 29 000 |
| daganatos betegségek | 28 600 |
| tüdőbaj és más fertőző betegségek | 2 300 |
| légzőszervi meghűléses betegség | 7 600 |
| cukorbetegség | 2 000 |
| máj, vese, prosztata, fekély | 6 700 |
| szülés, vetélés, magzati vagy genetikai ártalom | 2 200 |
| más betegségek | 22 300 |
| alkohol | 1 000 |
| gyilkosság | 300 |
| öngyilkosság | 4 900 |
| közlekedés | 2 000 |
| otthoni baleset | 1 300 |
| egyéb baleset | 3 500 |
| | közel 150 000 |
| ebből férfi | 78 000 |
| ebből nő | 72 000 |

Az egyéni kockázatot szemléletes az életkor-megróvidülés nyelvére lefordítani. Életkort megrövidítő „szokásaink” hatása:

| | |
|---|----------|
| férfinak születni | 3000 nap |
| aggregényként élni | 3000 nap |
| szegénynek lenni | 500 nap |
| kimaradni az általános iskolából | 800 nap |
| közlekedni | 120 nap |
| nagy helyett kis autót vezetni | 50 nap |
| 80 km/h helyett 120 km/h sebességhatárt | 40 nap |
| évi 1 tüdőrontgenre járni | 120 nap |
| 1 kg súlyfölsőletet növelni | 90 nap |
| naponta 10 cigit elszívni | 450 nap |

Ezzel elérkeztünk a kémiai kockázatok problémájához.

Kémiai kockázatok

Az *ólom* a legelterjedtebb kémiai mérgek egyike, amely ólomból készült vízvezetési csövekből kerül ivóvizünkbe, ólomtartalmú benzint fogyasztó autók kipufogógázából tüdönkbe, lakásunk ólmos festékrétegéből mindent megnyaló gyermekeink szájába. A kisgyermek csontot építő szervezete az ólomat omokat összetéveszti a kalcium atomjaival, mész helyett beépíti az enzimfehérjébe is, így azok működésképtelenné válnak. Ez intelligenciacsökkenést, túlzott mozgékonyt okozhat. Kisgyermek és terhes anyák szervezetébe vitt ólom 50%-a fölszívódik. (A felnőtteknél ez az arány már csak 15% körül van, az ő szervezetük nem igényel annyi kalciumot, sikeresebben védekezik az ólom felvétele ellen.) Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) ajánlása 1 liter vérben nem enged meg 0,2 mg ólomnál többet, mert e fölött már káros hatások jelentkeznek. De az Egyesült Államokban a gyerekek vérének átlagos ólomtartalma 6 mg/liter, Angliában 7,5 mg/liter, egyes európai városokban (Párizs, Athén, Szófia, Budapest) 10 mg/liter. Sok lakásba ólomcsövön érkezik a víz. Az angol szabvány már megtiltja 50 mg Pb/liternél nagyobb ólomtartalmú víz fogyasztását, de lakások millióinak vízvezetékcső-cseréje milliárdokba kerülne. Egyes lakásokban a vízvezetési víz ólomkoncentrációja ennél nagyságrenddel nagyobb is lehet. (Különösen a lág, savanyú kémhatású víz oldja az ólomot. Legjobb a vizet jól kiereszteni a csapból, mielőtt ivópoharunkba töltünk.)

A legtöbb ólom a levegőből kerül szervezetünkbe. A városi levegő ólomtartalma meghaladhatja az 1 mg/m³ értéket, pedig a megengedett érték 0,05 mg/m³. Ezért tértek át a fejlett országok az ólommentes benzinre: annak előállítása többbe kerül, de olcsóbban adják. Az ólom – sajnos – nem bomlik magától. Biológiai felezési ideje vérben 25 nap, hússzövetben 40 nap, csontban 30 év. Az ólomot nehéz az idegrendszerileg károsult gyermek szervezetéből eltávolítani. Ezt csak egyes

óloमतomok molekulacsapdába ejtésével lehet megtenni, de az ilyen kezeléssorozat gyermekenként 100 000 dollárba kerül.

A kémiai kockázatokat nehéz számszerűen jellemezni. Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala egyszerűség okából (küszöbmentes) *kockázat/dózis arányosságot* rendelt el a rákkeltő kémiai anyagokra vonatkozóan. A függvény meredeksége például 0,1 mikrorizikó/mg *arzén* esetében. A természetes vizek átlagos arzéntartalma 0,01 mg/liter, de néha 1 mg/liter értéket is elér. A talaj arzéntartalma általában 7 mg/kg, de ennél több százszor magasabb értékek is előfordulnak. Innen a talajvíz magasabb arzéntartalma. Magyarországon az ivóvíz maximálisan megengedett arzéntartalma 0,05 mg/liter. Ha valaki ebből a vízből naponta 1 litert fogyaszt, 1 év alatt összeszed 1 mikrorizikó rákkockázatot. (Dél-Magyarországon vannak tiszszerte több arzént tartalmazó kutak is. Az 1980-as években megtiltották ezek használatát, mert évente 10 mikrorizikó rákkockázatnak teszik ki azt, aki belőlük rendszeresen iszik, ez pedig megengedhetetlen. Egy alkalommal bírósági döntés kötelezte a békéscsabai vízművet a lakosság által befizetett vízdíj részleges visszatérítésére, mert a csapvíz arzéntartalma meghaladta a megengedett értéket.)

A tüdőbaj áldozatainak száma 50 év alatt tizedére csökkent a tüdőbajjellenes oltóanyag használatának köszönhetően. A környezeti ártalmak rosszabbodása (és a dohányzás hazai terjedése) miatt viszont közel tízszeresére emelkedett a tüdőrák okozta elhalálozások évi száma. Az asztmás megbetegedések száma a hetvenes évek óta tízszeresére nőtt. Jelen szakmai becslések szerint *hazánkban évente a halálokok 6%-a levegőszennyezés: 10 000/év.* (Ezt a városi és falusi életmód kockázatainak egybevetéséből lehet kiolvasni.) Százhalombattán (ahol az olaj-erőműben a feldolgozás után visszamaradt nehézolaj eltüzelésével termelik a villamos energiát) a gyerekek légzőszervi megbetegedéseinek száma még a magas budapesti értéknek is a háromszorosa! (A környezetvédők az 1990. évi Föld Napján tett nyilatkozatukban e környezeti ártalmak áldozatainak hazai számát 30 000/év értékűre becsülték.)

A világ évente 5 billió (ötmilliószor millió) cigarettát gyárt. A magyar dohányipar évi termelése 1960 óta több mint megduplázódott, a lakosság egyharmada dohányzik. 1990-ig nálunk tilos volt cigarettát reklámozni, ma minden gyerek ismerheti a Marlboro és más szavak által fémjelzett „modern-sportos-vadnyugati” életmód vonzó voltát. Kelet-Európában az 1990-es években évi 1-2%-kal nőtt a dohányfogyasztás. Az Egészségügyi Világszervezet évente 3 millióra becsüli a dohányzás áldozatainak számát, ezek 1%-a Magyarországon hal meg. (A WHO szerint évi 29 000. Ennyivel kedvezőtlenebb a dohányzók hazai életstatisztikája a nem dohányzókéval szemben.) Ha ezt az adatot összevetjük a hazai 31 milliárdos évi cigarettafogyasztással, megértjük, hogy jött ki az *1 cigaretta = 1 mikrorizikó* kockázatbecslés. A dohányzás áldozatainak száma világszerte messze fölülmúlja a kábítószerkéét, mégis a kábítószer kockázata felé fordul a nagyobb figyelem. (Talán a dohánygyárak szorgalmasabb adófizetők?)

Ha valaki napi 8 órát tölt dohányfüstös szobában, ez a közvetett dohányzás annak felel meg, mintha havonta két cigarettát elszívna. $R = 24$ mikrorizikó/év, a

kockázat pedig meghaladja, amit másoknak (gyermekeinknek) – azok beleegyezése nélkül – okozni szabad. Hazánkban 3 millió gyerek él. Ha szüleik egyharmada dohányzik, legalább millió gyerek van érintve. Könnyű megbecsülni, hogy a dohányos szülők által gyermekeiknek okozott kollektív kockázat hány fő/év Magyarországon.

A tényleges hatást bonyolítja a mérge szervezetben történő visszatartásának mértéke, különböző rákkeltő anyagok együttes támadása, a biológiai immunválasz nemlineáris jellege. Például tekintsük a cigaretta és az alkohol együttes rákkeltő hatását. Nem dohányzó (aki 10 cigarettánál kevesebbet szív naponta) és nem ivó (aki 40 g alkoholnál kevesebbet iszik naponta) számára is létezik valamelyes rákkockázat. Ha viszont valaki erős dohányos (20-nál több cigarettát szív naponta), kockázata 8-szoros. Ha valaki erősen iszik (80 g-nál több alkoholt naponta), a kockázat 18-szoros. De ha valaki füstöl és iszik, kockázata 44-szeres. A kockázatok nem csak összeadódtak! A szervezet védekező, hibajavító rendszerre több rákkeltő anyag együttes támadását nem képes leküzdeni.

Napozni jó?

„Angolkóros leszel, ha nem mégy a napra” – mondta gyerekkorunkban a nagypapa. Valóban: a közeli lágy ultraibolya sugárzás elősegíti a D-vitamin szintézisét.

Az első emberek Afrikában jelentek meg, ők nyilván feketék voltak. Amikor a túlnépesedés egy részüket Európába szorította, egy pigmentképződést csökkentő mutáció előnyös volt, mert a bőr több napfényt hasznosíthatott, így a szervezet gyengébb napfényben is elegendő D-vitamint termelhetett. Európában sötét téli délutánokra kvarcolást ajánlanak a doktorok.

A napfény kemény ultraibolya fotonjai szétverik a légkör molekuláit, így jön létre az ionoszféra. A mélyebb légrétegeket csak a lágyabb ultraibolya fotonok (0,5–0,7 aJ) és a látható fotonok (0,25–0,5 aJ) érik el. A Föld létének első milliárd éve során komplex szerves molekulák fennmaradását lehetetlenné tette az ultraibolya fotonok támadása. Élet nem merészkedhetett ki a szárazföldre. A tengerek zöld planktonjai azonban oxigént pumpáltak a légkörbe fotoszintézis révén ($h\nu + \text{CO}_2 \rightarrow \text{C} + \text{O}_2$), amiből a sztratoszférában ózon keletkezhetett ($h\nu + \text{O}_2 \rightarrow \text{O} + \text{O}$, $\text{O}_2 + \text{O} \rightarrow \text{O}_3$). A nagyobb ózonmolekulában 0,25 nm hosszú pályára delokalizált elektronok is vannak. Ezek elnyelik a lágy ultraibolya fotonokat ($h\nu = 0,6$ aJ). Így az élet az ózonpajzs védelme alatt elfoglalhatta a szárazföldeket.

Az 1980-as években vették észre angol kutatók, hogy az ózonpajzs az Antarktiszt fölött néha tizedrészére is elvékonyodik. Az ózonveszteség még Ausztrália fölött is elért 15%-ot. Ekkor ott azon kezdtek gondolkodni, hogy az utcákat veszélyesen napos időben fóliasátor védelme alá kell helyezni. A tetteket sikerült a színhelyen tetten érni: a freon típusú (C-, F-, Cl-ből összetett) molekulák (spray, hűtőszekrény és légkondicionáló hatóanyagai) nagyon tartósak, kidiffundálnak a sztratoszférába, ott szétesve Cl_2O keletkezik, ami katalizálja az ózon lebontását. Az ózonpajzs összetörése a szárazföldek ultraibolya

besugárzását, az élővilág károsodását, emberek számára a bőrrákot jelentené. Ezért határozta el a Torontói Konferencia (amelyen 1987-ben a magyar kormány képviselője is részt vett) a freon típusú vegyületek gyártásának felére történő visszaszorítását 2000-ig.

Az Egyesült Államok (a napot kedvelő Reagan elnök bőrrákot szenvedett orra miatt is) különösen érzékeny az ózonpajzs védelmére. A Környezetvédelmi Hivatal becslése szerint az ózonréteg 1%-nyi ritkulása is már az ultraibolya besugárzás 2%-os növekedését eredményezi, ami 3%-kal növelheti a bőrrákesetek gyakoriságát. Amerikában fehér bőrűek közt a rákesetek 40%-a bőrrák; háromszor akkora gyakorisággal fordul elő a napfényes Texasban, mint az esős Iowában. A legtöbb a bőrrák Ausztráliában, melynek sivatagi szubtrópusi éghajlata, antarktiszi közelsége különösen érinti a szőke és vörös hajú lakosságot. Ott a bőrrákesetek száma 10 év leforgása alatt megkétszereződött. De a bőrrákesetek száma hazánkban is mintegy 2-szeresére nőtt 20 év, 4-szeresére 40 év alatt. Mivel a strandolás és leburnulás divatos lett, a magyar huszonévesek bőrrákgyakorisága 10 év alatt megháromszorozódott.

Az F-C-Cl kémiai kötések nagyon polárosak, így nagyon erősek. (Ezért olyan tartós a konyhaedények teflonbevonata.) A freon típusú molekulák gyűlnek a légkörben, a most emittált freon 10–15 év alatt diffundál fel az ózonrétegig, a föld színén akkor növekszik meg az ultraibolya sugárzás. Az általa kiváltott bőrrák lappangási ideje további 10–15 év. A freon egyes molekulái 400 esztendőt is megélnék. Így a freon jellegű vegyületek hatása halmozódik. Aki ma kap bőrrákot, annak a szülei által használt freon lehetett oka: az 1960-as években az iparosodott országok zabolátlanul eregették a freont a levegőbe. Amit mi bocsátunk ki, attól gyermekeink közül fognak egyesek szenvedni. Ezeket a vegyületeket elsősorban az északi féltekén gyártják és használják, évente több százmillió tonnát.

1991-ben a Fülöp-szigeteken kitört a Pinatubo vulkán, ami további hatalmas mennyiségű poláros molekulát juttatott a légkörbe. Így történt, hogy 1992. január 20-án minden korábbi antarktiszi rekordot megdöntő ózonvékonyodást észleltek Kanada fölött! A Cl_2O koncentrációja 1 milliárdod részt ért el Európa (így Magyarország) egén, 1,2 milliárdod részt is meghaladt Skandinávia fölött. Hazánk felett sem ritka az (húszéves átlaghoz viszonyítva) 5–10%-os ózonréteg-vékonyodást közlő jelentés. A spray-dobozok és kilyukadt hűtőszekrények hazánkban is összehozhatnak száz megamelanómás többlethalálestet évente. És legújabb jelentések szerint az ózonréteg vékonyodása évről évre fokozódik, 1999-re talán új rekordot ér el.

Az ultraibolya sugárzás molekulák gerjesztése, a kötések megbontása által hat. A következőkben a legjobban kikutatott, legpontosabban mért, leginkább számon tartott jelenséggörrel foglalkozunk: az *ionizáló sugárzások* kockázataival. Igaz, a biológiai és kémiai kockázatok nagyságrendekkel magasabbak. Az ionizáló sugárzás azonban a többinél nagyobb szakmai figyelmet váltott ki, így példamentékű következtetéseink nagyságrendileg helytállóak.

Ezt a példát annak ellenére részletezzük, hogy a fizikusok joggal kérdezik: miért csak a fizikatankönyv foglalkozik sugárártalommal, amikor a kémia-, bioló-

gia-, technikatankevények ezeknél súlyosabb veszélyekről hallgatnak? Természet-tudományos gondolkodásban iskolázatlan emberek (és a publicisztika) hajlanak arra, hogy „amelyik kockázat mérhetően különbözik zérustól, az veszélyes; amelyiket ed-dig mennyiségileg nem tudtak jellemezni, az veszélytelen” érvelést alkalmazzák. Látni fogjuk: olyan parányi sugárdózisok is mérhetők, amelyek a bizonyítottan káros dózisonál 100 000-szerre kisebbek, de értékük és kockázatuk számmal megadható. Nagyságrenddel nagyobb biológiai, kémiai, mechanikai kockázatokról viszont sokkal kevesebbet tudunk. Mégsem szabad abba a hibába esnünk, hogy ágyúval lövünk verébre, mert azt napvilágnál látjuk, éjszaka pedig megesz a farkas.

Radioaktivitás

Az *aktivitás* egysége 1 Bq (Becquerel) = 1 bomlás/másodperc. (Régi egység 1 g ^{225}Ra aktivitása volt: 1 Curie = $37 \cdot 10^9$ Bq.) Ha a felezési idő T , akkor N atom-ból álló minta aktivitása

$$A = N \ln 2 / T = 0,7N/T.$$

Radioaktív bomlás során ionizáló sugárzás keletkezik. Az emberi testben kel-tett ionok együttes ionizációs energiája tekinthető az ionizáló sugárzás által előidézett változás mértékének. A *dózis* az elnyelt ionizációs energia és testtömeg viszonya, egysége 1 Gy (gray) = 1 Joule/kg. (Régi egysége volt az 1 rad = 0,01 Gy.)

Egyező dózisérték esetén nem minden sugárzástípus kelt azonos biológiai ha-tást. A röntgensugarak vagy béta-bomlásból eredő gyors elektronok kis valószí-nűséggel ionizálnak, egy sejtre egy ion jut, vagy egy sem, ennyit hibajavító enzimek még orvosolhatnak. Az ugyanekkora energiájú alfa-részecske nagyobb tömege miatt lassabban mozog, jut ideje arra, hogy egy sejten belül sok iont kelt-sen, aminek kijavítását már nem győzik az enzimek, ezért nagyobb az esélye an-nak, hogy az alfa-sugárzás (vagy a neutron által meglökött atommag) egy sejten belül maradandó változást idézzon elő. Ha a sugárzástípus biológiai kvalitását egy Q faktorial v vesszük figyelembe, akkor a *hatásos dózis* (dózisegyenérték) a $H = Q \cdot D$ képlettel értelmezhető.

$Q = 1$ röntgen-, gamma-, béta-sugárzás esetén,

$Q = 2$ lassú neutronokra,

$Q = 10$ gyors neutronokra,

$Q = 20$ alfa-részekre, maghasadás termékeire.

A hatásos dózis egysége 1 Sv (sievert) = 1 J/kg. (Régi egysége 1 rem = 0,01 Sv.) A lakosságot (később részletezendő kevés kivételtől eltekintve) elsősorban rönt-gen-, gamma-, béta-besugárzás érheti, ezért a dózis és hatásos dózis fogalmát (pongyolán, de menthetően) egybemossák. Mértékéül az 1 millisievert = 0,001 Sv = 1joule/1000kg (foton vagy elektron hatására) mennyiséget használják, ez az átlagembert érő hatásos dózisok nagyságrendje.

Az ionizáló sugárzás által keltett ionok durván megzavarják a sejt enzimek által finoman, komplex organikus hálózat részeként szabályozott biokémiai reakciórendszerét, ezért feltétlenül *kockázat forrásai*. Tudjuk például, hogy 10 Sv dózis feltétlenül halálos, 5 Sv pedig 50% valószínűséggel vezet halálra. 3 Sv dózis napokon belül akut tüneteket eredményez. (Eddig a legnagyobb dózist túlélte ember Pjotr Palemarcsuk: ő 1986-ban 8 mSv dózist kapott Csernobilban, és ma már egészséges.) Ezek a determinált testi (szomatikus) dózisok, de ekkora dózist ember csak egészen kivételes alkalmakkor szenvedett el. (Hirosimában és Nagaszakiban a bomba epicentruma körül húzott 1,5 km sugarú körön belül, Csernobilban az atomerőmű területén.) Az emberek nagy tömegét érő (fenyegető) dózisok ennél kisebbek, azok nem vezetnek szükségszerűen megbetegedésre, de évek, évtizedek múltán rákot okozhatnak. Hogyan lehet ezek késleltetett (leukémia-, rákkeltő) statisztikus kockázatát megbecsülni?

Hirosimában és Nagaszakiban volt egy zóna (az epicentrum körül 1,5 km – 2,5 km sugárral vont körgyűrűben), ahol sokan kaptak 0,1 Sv nagyságrendű hatásos dózist. Az itt túlélő emberek által elszenvedett dózisok nagyságát megpróbálták utólag rekonstruálni (házban vagy kívül tartózkodtak? a házban hol? milyen anyagból épült a tetőzet?), figyelemmel követték sorsukat, haláluk okát a következő évtizedekben. A kapott statisztikát azután egybevetették a más városokban élő japán lakosság adataival. A kivonás által nyert becslés azt mutatja, hogy 100 mSv hatásos dózis a leukémia és rák következtében történő elhalálozás kockázatát (ami összesen 20%) mintegy 5%-kal növeli meg. (Hasonló nyomon követés folyik Csernobil térségében is.) Ha elfogadjuk a *kockázat/dózis* arányosságot, az egyenes meredeksége 50 mikrorizikó/mSv értékűnek adódik. A Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) hivatalos becsléseiben ezt a kockázati tényezőt használja. (Különösen nagy dózisoknál e kockázati tényező dupláját kell alkalmazni.)

Hogy pontosak legyünk, tudnunk kell, hogy a különböző testrészek nem egyformán sérülékenyek. Az ionok rekombinálódásuk előtt ott keltik a legnagyobb zavart, ahol épp intenzív biokémiai reakciók folynak, tehát a különösen gyorsan osztódó sejtekben. (Hasonló okból a kisgyermek is sugárérzékenyebb.) Ember esetében az *ionizáló sugárzás determinisztikus és statisztikus testi kockázata bizonyított, de genetikai ártalmat nem sikerült kimutatni*. (Mintha a női szervezet önként elvetélné a megtermékenyült, de károsultnak bizonyult petesejtet, így belőle nem fejlődik magzat.)

Mekkora is 1 millisievert hatású dózis statisztikus rákkockázata? $R = 50$ mikrorizikó. Ezzel egyenlő

két és fél pakli cigit elszívni,
25 liter bort megiszogatni,
600 km hosszan kerékpározni,
3000 km hosszan autózni,
naponta kétszer átkelni egy forgalmas úttesten egy éven át,
1 veseműködés-röntgenvizsgálaton átesni.

Vállalna-e Ön ekkora kockázatot? (A várt válasz: attól függ, hogy minek az érdekében.) 1986-ban Csernobilból átlagosan 0,25 mSv dózis ért minden magyart. Mekkora kockázatnak lettünk kitéve? Mintha mindenki elszívott volna egy pakli cigarettát. Ez utóbbi veszélyes cselekedetre pedig még óriás plakátok is biztatnak! De szögezzük le: mindent meg kell tennünk, hogy atomerőművi baleset kockázatát és a többi elkerülhető kockázatot is csökkentjük.

Közben ne felejtsük el a kockázat valószínűségi értelmezését! Egy rulett pörög, amin sok-sok különböző szám van, de a tét: élet vagy halál. Egyetlen nagy energiájú részecske is halált okozhat (miként a kémiai szennyezésnél egyetlen molekula, biológiai fertőzésnél egyetlen vírus). Ezért a nemzetközi szabvány így fogalmaz: *a lakossági sugárterhelés olyan kicsivé teendő, amennyire ez ésszerűen lehetséges.* (Alacsonyítsd Le, Amennyire Racionálisan Alacsonyíthatod! ALARA-elv. Ez például a tüdőszűrés gyakorlatára így fordítható át: a felfedezett tüdőrák-esetek száma legyen nagyobb, mint a röntgenezés által kiváltott leukémiás megbetegedések száma.) – Hazánkban rendelet írja elő, hogy a lakosság előidézett sugárterhelése ne haladja meg az 5 mSv/év értéket. (Orvosi vizsgálatok – életveszély elhárítása érdekében – ezt túlléphetik). Foglalkozási (kedvezményekkel ellensúlyozott) sugárterhelés egy évben sem lépheti túl az 50 mSv/év értéket, többéves átlagban pedig a 20 mSv/év értéket. (A paksi atomerőműben dolgozók ezt a dózist messze nem érik el. Az atomerőműben eddig kapott legnagyobb dózis csak egyszer volt 33 mSv/év.)

Miként árt az ionizáló sugárzás?

Főleg vízből vagyunk. Ezért az ionkeltés valószínű folyamata:

foton + H₂O → H⁺ + OH⁻ (töltött ion!), OH + OH → H₂O₂ (oxidálószer!).

Mind a töltött részecske, mind a hidrogén-peroxid erősen megzavarja az enzimek által finoman szabályozott biokémiai ciklus-hálózatot. (A sejt belseje H-gazdag redukált összetételű, ezt a kémiai állapotot az oxidáció tönkreteseti.) Hasonló ártalmas hatása volt egykoron annak, hogy a növényi fotoszintézis oxigénnel dúsította fel bolygónk légkörét. Ez volt az első nagyszabású légkörszennyezés, amely pusztítóan hatott a felkészületlen sejtekre. Később az élőlények hatékony H₂O₂-ellenes védelmet fejlesztettek ki, amely ideig-óráig véd az oxigéntámadás ellen (kataláz, szuperoxid-diszmutáz enzimek). Eszerint az *oxigénlégzés és az ionizáló sugárzás hasonló módon támadja a sejtműködést.* A szárazföldi életre felkészült sejtek ezt késleltetni képesek, de kivédeni nem. (A relatívan több oxigént fogyasztó, gyorsabb anyagcseréjű egér csak 1 évet él meg.) Ha 1 mSv/év sugárdózis 50 mikrorizikó/év kockázattal jár, 60 éves életkorral számolva ez 0,3% kockázat. De az emberek közel fele megbetegszik rákban, 20%-uk rákban pusztul el. Ezt James Lovelock légkörkémikus (a bioszféra-organizáció GAIA-modelljének megalkotója) legújabb könyvében úgy értelmezi, hogy a lélegzés ténye kb. 70 mSv/év sugárdózisnak megfelelő, vele azonos kockázatnak tesz ki mindnyájunkat. Hagyjuk abba a lélegzést? Ostoba kérdés. A légkör szabad, kémiailag aktív oxigénje fokozott aktivitást tett lehetővé, állatokat, embereket, kultúrákat teremtett. Szervezetünk elég jól védekezik ellene. Ugyanilyen dilemma az ionizáló sugárzás is. Gyógyíthatatlan leukémiát kelthet és gyógyítható tüdőrákot fedez-

het fel. A nukleáris energia realizálódhat radioaktivitást szétszóró atombomba és a radioaktivitást fedő alatt tartó atomerőmű formájában. (Részletezés később.)

Milyen aktív vagy?

Egy kg vízben vagy húsban összesen összesen 10^{26} db atom van. A hidrogén (10 súly%), oxigén (59%), szén (20%), nitrogén (5%), nátrium (3%), kalcium (1%), foszfor (1%), kén (0,5%), kálium (0,3%) atomjaiból épülnek föl a biokémiaiilag legfontosabb vegyületek.

A légkört kívülről a kozmikus sugárzás nagy energiájú protonjai bombázzák. Ezek a felső légkörben atommagrombolást végeznek, többek közt neutronokat szabadítanak ki. A neutronok a levegő nitrogénjéből a $n + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{14}\text{C} + p$ reakció szerint folyamatosan termelik a ${}^{14}\text{C}$ izotópot, amely radioaktív: 5700 év felezési idővel bomlik. (Egyensúlyi koncentrációja ${}^{14}\text{C}/\text{C} = 10^{-12}$.) A megadott adatok szerint egy 75 kg tömegű úr testében ez 750 billió darab ${}^{14}\text{C}$ atom jelenlétét jelenti. Közülük másodpercenként 3000 bomlik el:

$$A({}^{14}\text{C}) = 3\,000 \text{ Bq.}$$

A Napban hidrogénatomok héliummá fuzionálnak, ez termeli a napfény energiáját. Ezenközben radioaktív hidrogén (trícium, ${}^3\text{H}$) is keletkezik, amiből egy keveset a napszél Földünkre sodor. A trícium radioaktív: 12 év felezési idővel bomlik. (Az utánpótlás és bomlás egyensúlyaként az esővíz tríciumkoncentrációja ${}^3\text{H}/\text{H} = 10^{-18}$.) A 75 kg tömegű úr teste sok H-atomot tartalmaz, van benne 4,8 milliárd tríciumatom is, ebből másodpercenként 10 bomlik el:

$$A({}^3\text{H}) = 10 \text{ Bq.}$$

A Tejútrendszer közeli vidékén 5 milliárd éve szupernóva-robbanás történt. A szupernóva több milliárd fokok hőmérsékletén sok volt a szabad neutron. Ezek a szupernóvában gyakori ${}^{40}\text{Ca}$ -atomok egy részét ${}^{40}\text{K}$ -atomokká alakították. A szupernóva által kidobott anyag csillagközi gázokon torlódva csomósodásokat idézett elő. Ilyen csomókból született a Nap is és bolygói 4,6 milliárd évvel ezelőtt. A ${}^{40}\text{K}$ -atommag felezési ideje 1,28 milliárd év, ezért számuk igencsak megfogyatkozott, mai földi gyakoriságuk alig ${}^{40}\text{K}/\text{K} = 0,0118\%$. De ez azt jelenti, hogy a 75 kg tömegű úr szervezete ma is tartalmaz 3000 trillió ${}^{40}\text{K}$ -atomot, közülük viszonylag sok bomlik el másodpercenként:

$$A({}^{40}\text{K}) = 5\,500 \text{ Bq.}$$

Ha összevetjük testünk eme fő radioaktív összetevőit, azt kapjuk, hogy az átlag emberi test aktivitása mintegy 8500 Bq. *Közel tízezer atom bomlik el bennünk két szívdobbanás közt.*

Saját testünk anyaga olyan sugárterhelésnek tesz ki bennünket, ami meghaladja a 0,18 mSv/év értéket. 55 éves élettartammal és kockázat/dózis arányossággal számolva ez 10 mSv dózissnak és 0,05% teljes kockázatnak felel meg. Fél ezrelék annak esélye, hogy saját testünk sugárzása miatt halunk meg. Ettől csak úgy mentesíthetnénk magunkat, ha kibújnánk saját bőrünkéből.

De van önként vállalt kockázat is. Ha egy leány ágyát megosztja egy úrral, gondoljon arra, hogy az úr 8500 Bq aktivitású radioaktív készítmény. Az úrban másodpercenként 5500 K-atommag esik szét. Ezek 10%-a 0,23 pJ energiájú gammafotonokat is kelt, amik a leányt is elérhetik! Ha a szoros kapcsolat miatt csupán 8% nyelődik el az 50 kg tömegű leány testében, ez 0,2 billiomod Sv/s sugárterhelést, egy 8 órán át tartó éjszaka során pedig mintegy 15 nanosievert hatásos dózist jelent. Ezeregy éjszaka során ez bizony 0,01 mSv önként vállalt dózis! Kockázatát bárki kiszámíthatja: az 1/2 mikrorizikó, ami megfelel egy fél cigaretta kockázatának. Megérte? (Láttuk, hogy a szűzies életnek is élettartam-rövidítő hatása van.) Az urak kockázata kisebb, mert a lányok általában kisebb tömegűek, bennük kevesebb a radioaktív atom.

Lélegezni veszélyes!

A tórium felezési ideje 14 milliárd év, az urán felezési ideje 4,5 milliárd év. Az 5 milliárd éve szétrobbant szupernóvában keletkezett tórium és urán java része még ma is megvan Földünk talajában. Ezek bomlása (no meg a ^{40}K) szolgáltatja Földünk belső melegét, amely pl. hazánk területén átlagosan 100 kW/km² energiával áramlik kifelé. (Erre gondolhatunk a hévizi meleg tóban fürödve.) De nem csupán hő áramlik a talajból. A Th-család bomlássorában a ^{220}Rn -izotóp (a toron) nemesgáz, 1 perc felezési idővel. Az U-család bomlássorából a ^{222}Rn -izotóp (a radon) nemesgáz, 3,8 nap felezési idővel. A talajból kidiffundáló gázok radioaktivitást visznek a légkörbe. Tóriumból több van, de a diffúzióhoz idő kell, ezért végül is mintegy százszor annyi radon van a levegőben, mint toron. A levegő innen származó aktivitása erősen függ a helytől és időjárástól. Tájékoztató koncentrációértékek:

| | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| külső levegő mintegy | 10 Bq/m ³ |
| trópusi lakások | 20 Bq/m ³ |
| felére csökkent légcirkuláció | 40 Bq/m ³ |
| lakások világátlaga | 40 Bq/m ³ |
| huzatos magyar szoba | 40 Bq/m ³ |
| átlagos magyar lakás | 60 Bq/m ³ |
| magyar falusi földszintes házban | 130 Bq/m ³ |
| magyar lakások 1%-ában több, mint | 300 Bq/m ³ |
| pince | 250 Bq/m ³ |
| régi svéd háznál megengedett maximum | 400 Bq/m ³ |
| erősen radonos lakás | 1 000 Bq/m ³ |
| barlang, bánya lehet | 30 000 Bq/m ³ |

A Rudas-fürdő Iuventus-forrás vízével táplált uszodájában 4000 Bq/m³. Hazánkban lakószobában mértek 10 000 Bq/m³ értéket meghaladó aktivitáskon-

centrációt is. Azóta az utóbbi kiugróan magas értékeket a szobák megfelelő átépítésével kiküszöbölték.

A radont belélegezzük, majd – nemesgáz lévén – kilélegezzük. De a radon radioaktív bomlástermékei fématomok, ezek ráülnek a lebegő porszemekre, belélegezve a tüdő falára. Több közülük alfa-bomló, ami a tüdőfal roncsolásához és tüdőrákhoz vezethet. Ma az uránbányákat igen intenzíven szellőztetik. Régen a radon tüdőrákkeltő hatása még nem tudatosult. Az uránbányászok a század első felében több ezer Bq/m³ aktivitású levegőt szívtak be. Az innen gyűjtött tapasztalat szerint 1000 Bq/m³ aktivitású munkahely 0,6%-kal növelte a tüdőrák valószínűségét.

A szoba radontartalmú levegőjének belégzése az embert sugárdózisnak teszi ki. A radonkoncentráció dózisteljesítményre való átszámítására többféle átváltási tényezőt használnak: 1 mSv/év dózisteljesítményt 20 és 60 közé eső radonkoncentráció okozhat. Feltételezve, hogy a radon-bomlástermékek koncentrációja az egyensúlyi koncentráció fele, és hogy időnk nagy részét a hálósobában töltjük, 40 Bq/m³ radonkoncentráció jelenthet 1 mSv/év dózisteljesítményt. (Munkahelyen rövidebb ideig tartózkodunk, ezért 60 Bq/m³ koncentrációnak felelhet meg 1 mSv/év dózisterhelés.) Így a következőket mondhatjuk:

| | |
|--|-------------|
| a vadon élő ember (10 Bq/m ³) hatásos radon-dózisa volt | 0,25 mSv/év |
| szellőzött házban élő ember (40 Bq/m ³) hatásos radon-dózisa | 1 mSv/év |
| jó nyílászárókkal ellátott lakásban (100 Bq/m ³) a hatásos dózis | 2,5 mSv/év |
| nagyon radonos házban (1000 Bq/m ³) a hatásos dózis | 25 mSv/év. |

(Az ezeknek megfelelő rák-kockázatértékek – dózissal arányos kockázatot feltételezve – 50 év során 0,06%, 0,25%, illetve jó nyílászárókkal felszerelt „energiatakarékos” lakásban 0,6%, nagyon radonos házban 2,5%. Nem nagy érték, hiszen 20% a rákelhalalozás teljes valószínűsége, és ebben a tüdőrák jelentős hányadot képvisel. A tüdőrák gyakorisága hazánkban az elmúlt évtizedekben háromszorosára nőtt, de ez inkább írandó a dohányzás és közlekedési eredetű légkörszennyezés rovására, mint az „energiatakarékos” ablakszigetelésére. Hogy a lakóhelyi radon-földúsulás mégsem elhanyagolható probléma, azt láthatjuk, ha a kollektív kockázat értékére térünk át. Magyarország lakossága $N = 10$ millió fő, így ha átlagosan csak 1 mSv/év radonterheléssel számolnánk – ami egyébként 0,5 mSv és 20 mSv közt bármi lehet –, a kollektív kockázat 500 fő/év lehet.)

Érthető tehát a növekvő nemzetközi érdeklődés a radonprobléma iránt, hiszen a radon a *modern építkezésre visszavezető lakossági sugárterhelés legnagyobb és leginkább változó összetevője*. Ha a lakosság – bizonyos hirdetésekre hallgatva – energiatakarékosság céljából jó nyílászárókat szerelné fel lakásába, és kevesebbet szellőztetne, így évi 1 mSv-tel megnövelné az elszennvedett dózist, ami egyáltalán nem volna ártatlan változás ($N \cdot R = 500$)!

A radondózis különösen jelentős Svédországban, ahol urántartalmú kőzet van a felszínen, és a legtöbb lakás egyszintes. Érthető a svédek nagy érdeklődése házuk radonmentesítése iránt. Megtiltják 70 Bq/m³ -nél nagyobb belső aktivitású házak építését. A 400 Bq/m³-nél magasabb aktivitású házaknál Svédországban

szükségesnek ítélik az átépítést (alagcsövezés, radonelszívó ventilátoros kutak, gázátszivárgást elszigetelő cement- és kátrányszigetelés). Magyarországon az 1996-os atomtörvény ugyan megkívánná a hatósági radon-korlátot, de lakásokra jogilag nálunk ilyen még nem létezik. Más országokban a következő korlátok érvényesek:

| | |
|---|---------------------------|
| Egyesült Államok | 150 Bq/m ³ |
| angol, cseh, kínai, német, orosz, szlovák | 200 Bq/m ³ |
| svéd | 400 Bq/m ³ |
| svájci kötelező cselekvési határ | 1 000 Bq/m ³ |
| az Európai Közösség ajánlása | 200 Bq/m ³ |
| az Egészségügyi Világszervezet ajánlása | 200–600 Bq/m ³ |

Csak egy fogsöntgen

Magyarországon 2500 orvosi röntgengkészülék működik. Mindnyájunkat meg-röntgeneztek már. A röntgensugár ugyan szervezetünk molekuláit is ionizálja, de az érzékeny filmen nyomot hagyva, információt ad orvosunknak belsónkról, megkönnyítve a gyógyítás munkáját. Ezért a magyar jogi szabályozás szerint az orvosi röntgendózis nem számít be a lakossági 5 mSv/év dóziskorlátba.

A röntgengkészülék egy vákuumcső, amelyben az izzó katódról kilépő és magas elektromos feszültséggel felgyorsított elektronok fémlapba csapódva lefékeződnek, mozgási energiájukat nagy energiájú fotonok formájában adják le. Régi röntgengkészülékeknél a röntgenfotonok energiája erősen különbözik; hogy elég kontrasztos képet nyerjenek, a besugárzás 1-2 másodpercig is eltarthat. (Halljuk a zúgás hosszát a vizsgálat alatt.) Ilyenkor figyelmeztet a röntgenorvos, hogy ne mozogjunk, amíg a felvétel tart. Közben, amíg pl. egy fogunkat a felső fogsorban felülről átsugározzák, ólomkötény-védelem híján áradnak a röntgenfotonok a tüdőnk felé. Néha még jobban megnövelik a sugáradagot, hogy előhíváskor hamarabb kijöjjön a kép, a betegnek ne kelljen annyit várakoznia. Egyetlen felvétel régebbi röntgengkészülékkel túlléphet 1 mSv dózist, ami több, mint 50 mikrorizikót jelent! (Nem is engedik a várandós kismamák röntgenvizsgálatát!) Magyarországon 1973-ban 7,4 millió, 1988-ban 10,9 millió röntgenfelvétel készült. Egy lakos orvosi célú átlagos sugárterhelése 0,35 mSv. Egyszerű szorzásból: a kollektív kockázat értéke hazánk lakosságára 175 fő/év.

Egy modern készülék ára 6000 dollárt is elér. Vele (elavulásig) 60 000 felvétel is elkészíthető. A kollektív dózist 60 000 mSv-tel, a kollektív kockázatot 3-mal csökkentheti. Az adózó állampolgár joggal kérdezheti: *az általunk fizetett adóból e célra rendelkezésre álló pénzkereteket hogyan kell befektetniünk, hogy minél több emberéletet mentsiünk meg?* Egy emberélet ára (nemzetközi megítélés szerint) például:

| | |
|---|------------|
| szülési higiénia fejlesztésével (a harmadik világban) | 50 dollár |
| fertőtlenítéssel (nők iskolázása, Indonézia) | 100 dollár |

| | |
|--|------------------|
| modern röntgenkészülékek beszerzésével | 2 000 dollár |
| új autópálya építésével | 20 000 dollár |
| orvosi szűrővizsgálatokkal | 50 000 dollár |
| autóvezetőknél ütközéskor felfúvódó légzsákkal | 320 000 dollár |
| alacsony szintű atomhulladék üvegesítésével | 10 millió dollár |

Jót tenne egy kis sugárzás?

Egyes fürdőorvosok légzőszervi panaszok esetén barlangi kúrát ajánlanak. Osztrák orvosok Bad Gastein bányabarlangját javallják, ahol a felgyülemelő radon aktivitása az 1000 Bq/m^3 értéket magasán meghaladhatja.

A kockázat/dózis $R/D = 50$ mikrorizikó/millisievert arányának feltételezett állandósága izgatja a tudományt, hiszen az $N \cdot R$ kollektív kockázat másik tényezője (N) millió, tízmillió fő lehet. A szigorú arányosságot pl. a következő érvelés sugallja. Az ionizáló sugárzás támadása statisztikus jelenség: a nagy energiájú részecske vagy ionizálja a DNS-molekula egyik érzékeny pontját, vagy nem. Ha igen, a hibás DNS replikációja ráknövekedésre vezethet.

Először az angol nukleáris ipar átlagosnál nagyobb (10–50 mSv/év) sugárterhelésnek kitett dolgozóinál figyeltek fel arra, hogy köztük alacsonyabb a leukémia és rák gyakorisága, mint az átlagpopulációban. Ez ébresztette az első gyanút a föltételezett arányossággal kapcsolatban.

Bernard Cohen pittsburghi professzor kiszemelte az Egyesült Államok azon 3 államát, ahol a talaj összetétele miatt a lakosságot érő sugárterhelés legmagasabb, és azt a 3 államot, ahol a legkisebb. A dózist összevetette a rák-halálozási statisztikával. Azt találta, hogy a 100 Bq/m^3 radonkoncentrációnál magasabb sugárterhelésű államokban (Colorado 145 Bq/m^3 , Észak-Dakota 135 Bq/m^3 , Iowa 115 Bq/m^3) a tüdőrák-elhalálozás gyakorisága kisebb (410/millió fő évente), a legalacsonyabb sugárterhelésű államokban (Delaware 29 Bq/m^3 , Louisiana 35 Bq/m^3 , California 36 Bq/m^3) pedig nagyobb (660/millió fő évente). Nem akarta elhinni az eredményt, ezért vizsgálatait kiterjesztette Svédországra, Finnországra, Kína olyan vidékeire, ahol a felszínen lévő (uránban viszonylag dús) gránit miatt különösen nagy a sugárterhelés, és ezeket ismét egybevetette a normálisnál alacsonyabb terhelésű helyek statisztikájával. Az eredmény megint az volt, hogy *magasabb lakossági sugárterhelés (100 Bq/m^3 táján) csökkenti látszik a leukémia és rák gyakoriságát.* Hazánkban Mátraderecske az egyik legradonosabbnak ismert település, ott nem dohányzó nőknél hasonló jelenség mutatkozik: $150\text{--}200 \text{ Bq/m}^3$ táján kevesebb a rákos eset, mint 100 Bq/m^3 alatt. A tüdőrák-elhalálozás gyakorisága Mátraderecskén az országos átlag alatt van.

A gondolatsorban fontos láncszemet Nagaszaki városának atombomba által sújtott lakossága szolgáltatta. Erről Sohei Kondo könyve számol be: a hatásos dózis függvényében a leukémia valószínűsége először *esni kezd*, majd minimumon megy át, és csak magas dózisoknál mutatja az elméletileg várt lineáris emelkedést. (Ilyen hatásküszöb – esetleg védőhatás? – Hirosimában nem mutatkozott,

ott ugyanis a bomba eltérő szerkezete miatt a sugárterhelés főleg gyorsneutronoktól származott, amelyek atommagokat meglökve, koncentráltan támadnak meg egyetlen sejtet.) Akik Nagaszakiban túléltek az első évet, azok átlagos életkora 4 évvel hosszabbnak bizonyul az átlagos japán életkornál.

Ezek után kezdtek laboratóriumi kísérleteket folytatni az alacsony sugárdózis kockázatküszöbének, esetleg védőhatásának tárgyában. Az egysejtű papucsállatka szaporodását vizsgálták azonos légnyomási és kémiai feltételek mellett „lombikban”; mégpedig tengerszinten, 200 m mélyen (kevesebb kozmikus sugárzás), 1000 m és 3800 m magasan (50, ill. 300%-kal több kozmikus sugárzás hatása alatt). A nagyszámú papucsállatkával végzett kísérlet statisztikailag biztos eredménye: lenn lassúbb, fenn gyorsabb a szaporodásuk, mint tengerszinten.

Más kísérletek fehér egerek és patkányok élettartamának alakulását vizsgálták különböző napi dózisterhelés mellett. Mindkét kísérlet mérsékelt dózis alkalmazásánál élettartam-növekedést szolgáltatott. Hihetetlenül hangzik. Ha így lenne, mi lehet az oka? Egy újabb kísérletben a besugárzott egerek vérében lévő antitestek mennyiségét mérték meg a sugárdózis függvényében (42 nap folyamatos besugárzás után). Az antitestek mennyisége meredeken a normális érték ötszörösére növekszik 200 mSv / nap dózissal, a fölött azonban meredeken zuhan a normális érték alá.

Hevesy György emlékének tisztelő előadásában L. E. Feinemen gen sejttenyészetben végzett vizsgálatairól számolt be. Ha egy sejtet nagy energiájú elektron találata ér, ez R_0 valószínűséggel sejtpusztulást okoz. Két egyidejű találat viszont $2R_0$ -nál nagyobb valószínűséggel vezet sejtpusztulásra. Ha viszont az első (R_0 kockázattal járó) találatot pl. 4 óra múlva követte a második találat, ez utóbbi nem okozott számottevő kockázatnövekedést az első találat R_0 kockázatához képest. Magyarán: a második elektron érkezésekor a sejt immunvédelme már mozgósítva volt az első ionizáló találat által! De ha a második találat 12 órával később történt, mint az első, a kettő együtt a várt $2R_0$ kockázattal okozott sejtpusztulást.

Egy lehetséges modell mozaikjai látszanak rendeződni. A védőoltások kontrolláltan kis mennyiségű toxint visznek az egészséges ember vérébe azért, hogy aktiválják annak védekezőrendszerét a toxin termelésére képes mikroorganizmusok jövőbeli várható támadásával szemben. Meglehet, hogy az alacsony szintű (illetve hosszabb időre széthúzott) sugárterhelés hasonló védelmet aktivál, amelynek feladata az ionizáció és oxidáns közömbösítése. Ez kis dózisok, illetve mérsékelt oxidatív (tehát rákkeltő) támadások ellen véd, de nagyobb adagokkal szemben erre már nem képes. Ugyanez a nemlineáris viselkedés lehet a magyarázata annak, hogy a dohányosok sugárérzékenyebbek: két egyidejű támadás biológiai kivédése nehezebb. Ezt a modellt általánosan még nem fogadták el. Ezért a következőkben használt sugárkockázati értékeket felső korlátnak lehet tekinteni: $R/D \leq 50$ mikrorizikó / mSv.

Számítsd ki saját évi sugárdózisod!

Az eddig bemutatott fogalmak alapján vállalkozhatunk e feladat elvégzésére. Tekintsük először a természetes sugárterhelést:

| | |
|---------------------------------|-------------|
| kozmikus sugárzás tengerszinten | 0,30 mSv/év |
| 100 m magasság okozta többlet | 0,02 mSv/év |

Pontosabban: a kozmikus sugárzástól tengerszinten a légkör véd, értéke 1800 m-enként duplázódik. (Találós kérdés: vajon mégis miért hosszabb az átlagos életkor a Mátra falvaiban, mint Budapesten?) Kozmikus eredetű radioaktív anyagokból adódó terhelés:

| | | |
|---|-----------|--------|
| ^{40}K testben és táplálékban | 0,15+0,15 | mSv/év |
| ^{14}C testben és táplálékban | 0,015 | mSv/év |
| ^{87}Rb testben és táplálékban | 0,06 | mSv/év |
| U-család tagjai a környezetben | 0,10 | mSv/év |
| Th-család tagjai a környezetben | 0,16 | mSv/év |
| Rn szabad levegőn | 0,4 | mSv/év |
| <i>a természetes sugárterhelés átlaga</i> | 1,0 | mSv/év |

Ennyit kapnánk, ha az erdőben élnénk, fára telepített fészekben. De az ipari forradalom nem csak azáltal változtatta meg életmódunkat, hogy kiirtottuk a farkast, a pestist és a himlőt. Járulékos sugárterhelési ok, hogy házban lakunk:

| | |
|---|------------|
| talajból földszinten gyűlő radon* | 0,5 mSv/év |
| U-dús könnyűbeton építőanyag (9g U/t) | 1,8 mSv/év |
| tégla építőanyag (3,5g U/t) | 0,7 mSv/év |
| gipsz építőanyag (1,5g U/t) | 0,3 mSv/év |
| faház | 0,2 mSv/év |
| <i>átlag radon- és toron-terhelési többlet házban</i> | 1,5 mSv/év |

(*Megjegyzés: számíts 1 mSv/év terhelést minden gramm uránra a talajban tonnánként.) Ajánlat: költözz cölöpökön álló faházba! A civilizációs radonterhelés értéke ötödére fog csökkenni! További mesterséges sugárterhelések:

| | |
|---|-------------|
| repülőút, minden 2500 km után | 0,01 mSv/év |
| világító számlapú karóra | 0,02 mSv/év |
| fekete-fehér TV nézése 1 óra/nap | 0,01 mSv/év |
| színes TV nézése 1 óra/nap | 0,02 mSv/év |
| atombomba-kísérletek maradványa (^{90}Sr) | 0,01 mSv/év |
| orvosi röntgen- és sugárkezelés átlaga | 0,35 mSv/év |
| <i>technikai eredetű sugárterhelés (magyar átlag)</i> | 0,5 mSv/év |

Következésképp a magyar lakosság átlagos sugárterhelése fejenként 3 mSv/év, a gránittáblán, hideg éghajlat alatt élő svéddeké 7 mSv/év, Dél-Indiában tóriumos talaj miatt a keralaiaké 10 mSv/év. Összehasonlítási alapként ezekre a számokra támaszkodhatunk, amikor a nukleáris ipar által okozott sugárszennyezést vizsgáljuk.

Radioaktív kihullás

A paksi atomerőmű környezetében maximálisan 0,0005 mSv/év volt az erőmű üzeme miatt fellépő többlet lakossági szennyezés. Másik megfogalmazást Teller Ede ajánlott: az atomerőmű kapujában ülve kisebb a többlet sugárdózis (10^{-14} Sv/s), mint valaki mással egy ágyban hálva ($2 \cdot 10^{-13}$ Sv/s).

Az erőművi sugárszennyezés elsősorban a maghasadáskor szükségszerűen keletkező radioaktív nemesgázok (^{85}Kr , ^{133}Xe , ^{135}Xe), valamint ^3H légkörbe jutásának tudható be. A nemesgáz hasadási termékek kidifundálhatnak a fűtőelem fémburkolatán, így a levegőbe juthatnak. A radioaktív nemesgáz önmaga nem veszélyes, csak aktív bomlástermékei. (A nemesgáz-aktivitás 4 millió Bq/s.) A paksi szellőztetőkémények által a levegőbe eresztett szemcsék aktivitása mintegy 16 Bq/s.

A földkéreg átlagos urántartalma mintegy 4 g/tonna. A vízben oldódó uranil-sókat a humuszsav oldhatatlan vegyület formájában kicsapja, így a korhadó növényekből képződött szenek urántartalma ennél magasabb, a dunántúli szekben eléri a 100 g/tonnát. A szénerőművek pernyéjében tovább dúsul az urán, koncentrációja meghaladhatja a 300 g U/tonna értéket (Szalay Sándor), ami 1000 Bq/kg aktivitást is túlléphet. Ezzel összemérhető lehet a ^{40}K -tól származó aktivitás, a kettő együtt elérheti a 2000 Bq/kg értéket. Az ajkai és inotai erőmű ilyen magas urántartalmú szénnel tüzel, a pernyeemisszió aktivitása 1988-ban Ajkán 17 000, Inotán 22 000 Bq/s volt. Így az 1 MW villamos teljesítményre eső pernye-aktivitás-emisszió az országban 1988-ban így alakult:

| | | | |
|-----------|------------|-------------|-----------|
| Inota | 2 700 Bq/s | Komló | 7 Bq/s |
| Ajka | 1 300 Bq/s | Borsod | 2 Bq/s |
| Dorog | 34 Bq/s | Visonta | 1 Bq/s |
| Tatabánya | 30 Bq/s | Paks (atom) | 0,01 Bq/s |

Ajkán a lakossági sugárterhelés a szálló pernye miatt átlagosan 0,075 mSv/év (maximálisan 0,097 mSv/év) többletet mutatott, ami számukra 5 mikrorizikó plusz kockázatot képezett. (Pakson 0,0005 mSv volt a maximális évi lakossági dózis.) Azóta az üzembe helyezett pernyeleválasztónak köszönhető módon az 1 MW villamos teljesítményre eső szállópernye-aktivitás Ajkán negyedére, Inotán századára csökkent. Inota villamos teljesítménye 100 MW, Paksé 1800 MW.

A világ atomerőművei jelenleg 200 000 MW elektromos teljesítménnyel működnek, többségük az északi féltekén. A velük kapcsolatos nukleáris ipar is

szennyezi bolygónkat. Ennek fő forrása a kibányászott urán feldolgozása során légkörbe kijutó radon, ill. az elhasznált fűtőelemek újrafeldolgozása során kémiaiilag megköthetetlenül kiszabaduló aktív Kr és Xe nemesgáz. A világ nukleáris iparától a magyar polgárt átlagosan 0,00015 mSv/év terheli. Lány és szétoszló sugárzásról lévén szó, a kockázatra felső korlátokat tudunk adni, de azokat fentiek alapján bárki összevetheti pl. egyetlen cigi, egy úttest-átkelés vagy egy autós kifrándulás nagyobb kockázatával. Műszaki eredetű sugárzási kockázatokra az atomerőművek üzemzavarai irányították rá a közfigyelmet. Az idevágó adatok jól mértek és nyilvánosan ismertek. Egy korszerű hidrogénbomba légköri robbanásakor kb. 1 EBq (exabecquerel) = 10^{18} (trillió) Bq aktivitású anyag szóródik szét a légkörben. Viszonyítsuk ehhez a nagyobb nukleáris események által földi légkörbe szórt aktivitást:

| | | |
|--|--------|-----|
| 1945 Hirosimai atombomba | 0,01 | EBq |
| 1961 Legnagyobb szovjet hidrogénbomba-kísérlet | 10 | EBq |
| 1945–1963 Összes légköri atombomba-kísérlet | 100 | EBq |
| 1957 Windscale, reaktorbaleset | 0,04 | EBq |
| 1957 Kyshtym hulladéktároló balesete | 0,1 | EBq |
| 1979 Harrisburg reaktorbalesete | 0,0001 | EBq |
| 1986 Csernobil reaktorbalesete | 4 | EBq |
| 1992 Az El Chicón vulkán kitörése | 0,4 | EBq |
| A világ széniparának éves kibocsátása | 0,6 | EBq |

A világon ma közel 6 milliárd ember él. Mindenki kap kb. 1 mSv dózist természetes radioaktív forrásoktól. Ezt megnöveli a civilizációs terhelés: házakba költöztünk, fűtünk, világítunk, orvosok gyógyítanak. ENSZ-adatok alapján közöljük a Föld lakosságának különböző okokból kapott évi $N \cdot D$ kollektív dózist:

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| világító mutatók karórák | 1 ezer Sv · fő/év |
| repülőutazások | 10 ezer Sv · fő/év |
| orvosi sugárterápia | 1 500 ezer Sv · fő/év |
| orvosi röntgendiagnózis | 1 800 ezer Sv · fő/év |
| földgáz hasznosítása | 0,003 ezer Sv · fő/év |
| geotermikus energia | 0,005 ezer Sv · fő/év |
| kőolaj hasznosítása | 0,1 ezer Sv · fő/év |
| nukleáris ipar, lakossági terhelés | 10 ezer Sv · fő/év |
| nukleáris ipari dolgozók | 20 ezer Sv · fő/év |
| szénipar és széntüzelés | 100 ezer Sv · fő/év |
| foszfátműtrágya-ipar | 300 ezer Sv · fő/év |
| házban lakni (radon) | 6 000 ezer Sv · fő/év |
| természetes radioaktivitás | 6 000 ezer Sv · fő/év |

Ezt a folyamatos évenkénti terhelést össze lehet vetni egyszeri nukleáris események kollektív dózisával:

| | |
|--|---------------------|
| 1945 Hirosimai atombomba | 1 ezer Sv · fő |
| 1957 Windscale: reaktorbaleset | 2 ezer Sv · fő |
| 1957 Kyshtym: hulladéktároló balesete | 2,5 ezer Sv · fő |
| 1961 Novaja Zemlja: hidrogénbomba-kísérlet | 1 000 ezer Sv · fő |
| 1979 Harrisburg: reaktorbaleset | 0,04 ezer Sv · fő |
| 1986 Csernobil: reaktorbaleset | 600 ezer Sv · fő |
| 1992 Az El Chicón vulkán kitörése | 10 ezer Sv · fő |
| Összes légköri atomfegyver-kísérlet | 30 000 ezer Sv · fő |
| Összes föld alatti atomfegyver-kísérlet | 0,2 ezer Sv · fő |

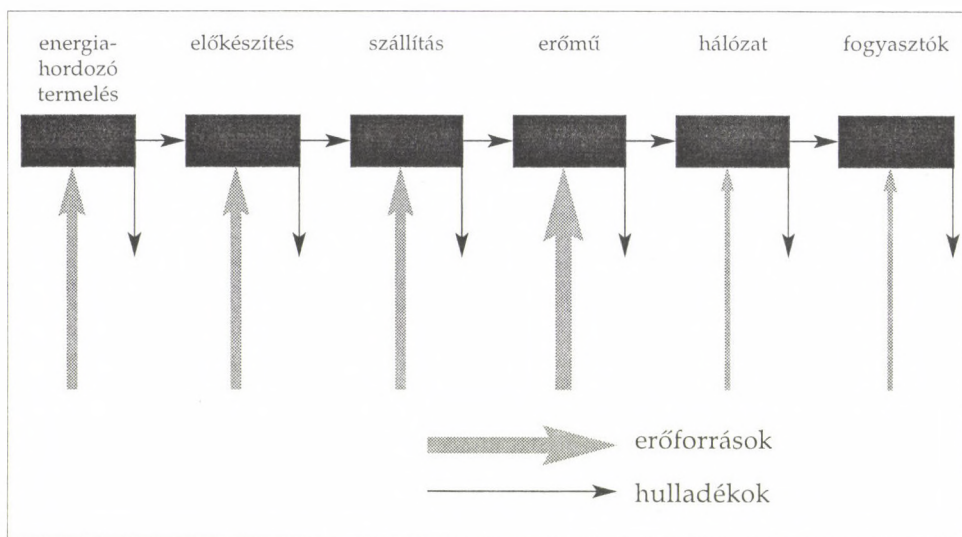
Ez utóbbi számokat érdemes összevetni azzal, hogy *normális üzemmódban minden évtized során* az atomipar 300, a szénipar 1000, a foszfátipar 3000 ezer Sv · fő kollektív dózist okozott a világ lakosságának. Dózis/kockázat arányosságot feltételezve, ezer Sv · fő kollektív dózis 50 áldozatot jelent. Küszöbhatást feltételezve viszont az ilyen alacsony dózisok kockázata elenyésző. Emlékezzünk: világszerte autóbalesetben is, dohányzástól is több millió ember hal meg évente. Tiltsuk be az autókat? Talán inkább tanuljunk meg biztonságosan vezetni, felelősségteljesen alkalmazni a technikát. Ez a komfortos élet feltétele. És ez lehetséges.

A villamosenergia-ellátás társadalmi kockázata

Az utóbbi évtizedben világszerte erősen megnőtt a félelem a villamosenergia-ellátás veszélyei és ártalmai miatt. Hazánkban is nemritkán nyilvánult meg társadalmi konfliktusokban. Példaképp említem Bős–Nagymaros ügyét, az atomerőművi radioaktív hulladéktároló ellenzését Ófalun és másutt, a demonstrációkat az erőmű légszennyezése miatt többek között Ajkán és Százhalombattán, a polgári engedetlenséget Kelenföldön az erőművet ellátó gázvezeték építésének megakadályozására, a villamos távvezeték építésének megakadályozását Budakalászon, a mohi atomerőművel kapcsolatban megnyilvánuló aggályokat, és még lehetne folytatni a sort. Meg kell tanulnunk e problémák kezelését, egyrészt a döntések során a hatások mértékének értékelésére, másrészt a társadalmi beleszólás lehetőségét komolyan vevő állampolgárok támogatására, hogy reálisan tudják megítélni a veszélyek mértékét. El kell kerülnünk, hogy érzelmek és indulatok befolyásolják állásfoglalásainkat, nehogy vélt veszélyek elhárítására fordítsuk véges anyagi erőforrásainkat, háttérbe szorítva a valós veszélyek elleni fellépést. Munkámmal¹ ehhez kívántam hozzájárulni. Természetesen egy rövid referátumban a témakör részletes kifejtése helyett csupán néhány kiragadott eredmény szemléltetésére nyílik mód. Ezek értelmezésének megkönnyítésére néhány módszertani megjegyzést előre kell bocsátani.

Ha meg akarjuk ítélni, hogy milyen kockázattal jár együtt egy társadalmi szükséglet kielégítése, akkor számba kell venni az ehhez szükséges összes tevékenység veszélyeit. Egyes elszigetelt létesítmények – például egy erőmű – kiragadott vizsgálata nem ad teljes képet a kockázatról. A villamosenergia-ellátás esetében ez egy olyan vertikum vizsgálatát igényli, mely a primer energiahordozók kitermelésétől a villamos fogyasztók ellátásáig terjed (1. ábra). A teljes képhez hozzátartoznak az egyes fázisok (energiahordozók kitermelése, szállítása, előkészítése, erőmű, villamosenergia-átvitel, fogyasztók) létrehozásához és működtetéséhez szükséges erőforrások biztosításával együtt járó kockázatok, sőt a

¹ Vajda Gy.: *Kockázat és biztonság*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.



1. ábra. Villamosenergia-ellátás folyamábrája

hulladékok hatása is. Az Ágazati Kapcsolatok Mérlegéből (ÁKM) meghatározható, hogy a különféle ágazatok tevékenységük mekkora hányadával járultak hozzá a villamos energetika működéséhez, feltételezhető, hogy ártalmaiknak is ilyen aránya növeli a villamos energetikáét.

A társadalom tűrőképessége szubjektív. Jobban tolerálja az önként vállalt veszélyeket, mint a kényszerűen elviselteket, egyes tevékenységek (például foglalkozások, közlekedés) kockázatait magától értetődőnek tartja, viszont sokkal kisebbeket (például hulladéktárolók) esetleg elviselhetetlennek tekint. Fogódzók híján fogas kérdés, hogy egy villamos energetikai vertikum eredő kockázata elviselhető-e vagy nem. Biztosabb talajon mozgunk, ha egyetlen megoldás helyett a szükséglet kielégítésére alkalmas változatokat hasonlítjuk össze, és így keressük a legkisebb kockázattal járó megoldást. Vizsgálatomnál az energiabázis tekintetében a Magyarországon reális alábbi négy változatot vettem figyelembe:

- külfejtéses lignit,
- mélyműveléses szén,
- szénhidrogén,
- atomenergia.

A kockázatvizsgálat többnyire az egészségi ártalmakra korlátozódik. Teljesebb a kép, ha ezt kiterjesztjük az életkörülményeket befolyásoló hatásokra is, vizsgálva a természeti és az épített környezet károsodását, az anyagi károkat, sőt bizonyos gazdasági és társadalmi kölcsönhatásokat is. A döntéseknél ugyanis a társadalomnak mindezekkel szembesülnie kell.

Az értékeléshez a számszerűsíthető következményekből az adott ellátási mód szerint fejlesztett villamosenergia mennyiségére vetítve fajlagos mutatókat képeztünk, ezek aránya szerepel az ábrákon. Nem mérhető következményeknél a

tapasztalatokra alapuló szubjektív sorolást alkalmaztunk. Az utóbbi eljárás védelmére szolgál, hogy a látszólag objektív eljárások is előbb-utóbb szubjektív módszerre kényszerülnek. Például a költség-haszon számításnál meg kell becsülni, hogyan fognak alakulni a jövőben az olyan alapvető tényezők, mint a kamatláb, az infláció, az olajár vagy a nemzeti jövedelem, méghozzá a létesítmények hosszú élettartama miatt több évtizedes előretartással. A Boole-algebra módszereire alapozott PSA-számításoknál is szubjektíven kell eldönteni, milyen eseményláncokat vesznek figyelembe, melyek a közös okokból eredő hibák, a hiányzó adatokat milyen analógiákkal vagy valószínűségi eloszlásokkal helyettesítik.

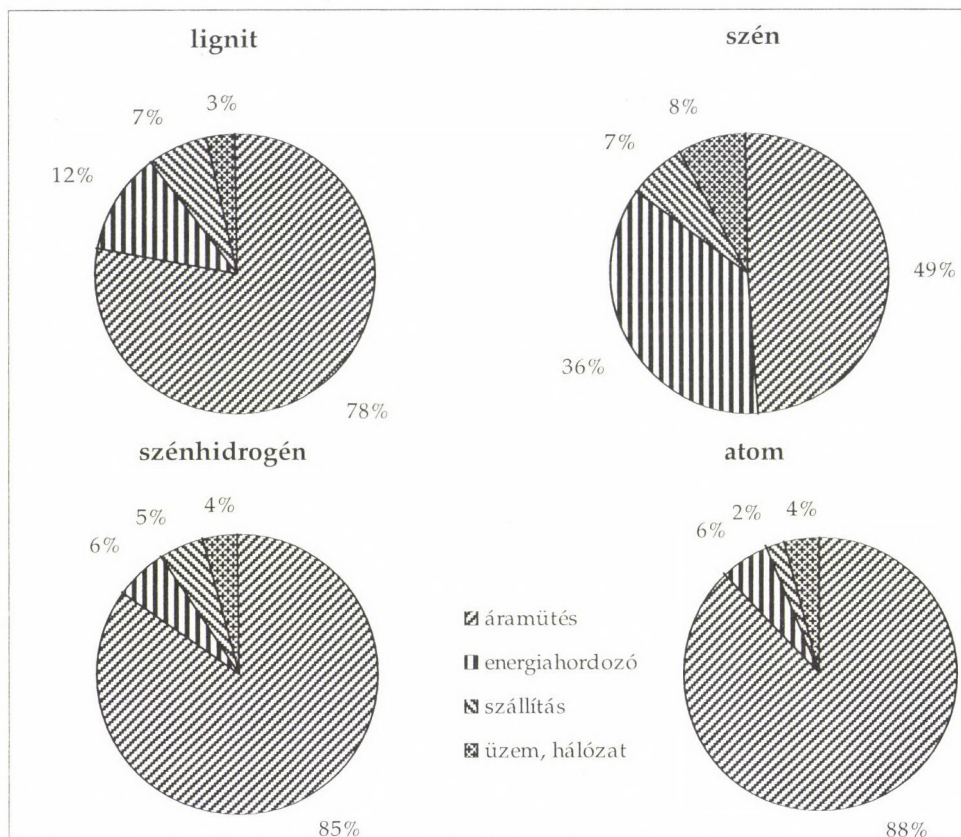
Természetesen az embereket a legjobban az egészségüket, testi épségüket, életüket veszélyeztető hatások nyugtalanítják. Nem léteznek olyan emberi tevékenységek, melyek nem járnak együtt ilyen kockázatokkal – a villamos energetikában a balesetek és a környezeti ártalmak tartoznak ebbe a körbe. A balesetekről sokirányú statisztikákkal rendelkezünk, jelleg, ok, kimenet stb. szerinti csoportosításokban. A legtöbb baleset az energetikai vállalatok dolgozóit érinti, de főleg az anyagszállítás és az áramutések a kívülálló lakosságot is veszélyeztetik. A súlyos kimenetű balesetek száma kereken egy nagyságrenddel haladja meg a halálos kimenetűekét, a könnyű balesetek mértéke egy további nagyságrenddel nagyobb. Meglepő módon a halálos balesetek domináns oka mind a négy változatnál áramütés a nem professzionális körben (2. ábra). A 3. ábra a halálos balesetek relatív arányát hasonlítja össze, a vonalkázott hasábok az áramutések nélküli esetre vonatkoznak, ebben kitűnik a mélyműveléses szénbányászat veszélyessége.

A fejlett országokban igen sok epidemiológiai vizsgálatot végeztek a környezeti ártalmakról, de ezek eredménye nagyon ellentmondó. Nehéz korrelációt találni a sokféle, egymásra szuperponálódó környezetszennyezés és a sokféle okból bekövetkező ártalmak egy-egy eleme között. Feltételezhető viszont, hogy az ártalmak a szennyező kibocsátással arányosak. A fosszilis tüzelőanyagokra alapuló változatoknál az erőművek légszennyezése által okozott légzőszervi ártalmakat, a nukleáris opciónál a teljes vertikum ionizáló sugárzás okozta sztochasztikus ártalmait tekintettük mértékadónak (4. ábra).

A szubjektív megítélés miatt külön kell kezelni az atomerőmű nagymértékű környezeti kibocsátással járó, súlyos balesetének kérdését. Ilyen akkor következhet be, ha a nem kielégítő hűtés miatt a reaktor aktív zónája megolvad, és egyidejűleg az aktív anyagokat befoglaló primer kör, valamint a környezetet védő hermetikus burkolat is megsérül. A csernobili katasztrófához hasonló méretű baleset még az RBMK² típusú reaktoroknál sem ismétlődhet meg, többek között e szörnyűséges esemény tapasztalatai³ alapján megvalósított biztonságnövelő intézkedéseknek köszönhetően. A nyomottvizes atomerőművek – amilyen a Paksi Atomerőmű is – inherens tulajdonságai miatt pedig lehetetlen egy ilyen méretű

2 Grafit moderátorú, csatorna típusú reaktor csak a volt Szovjetunió területén létesült.

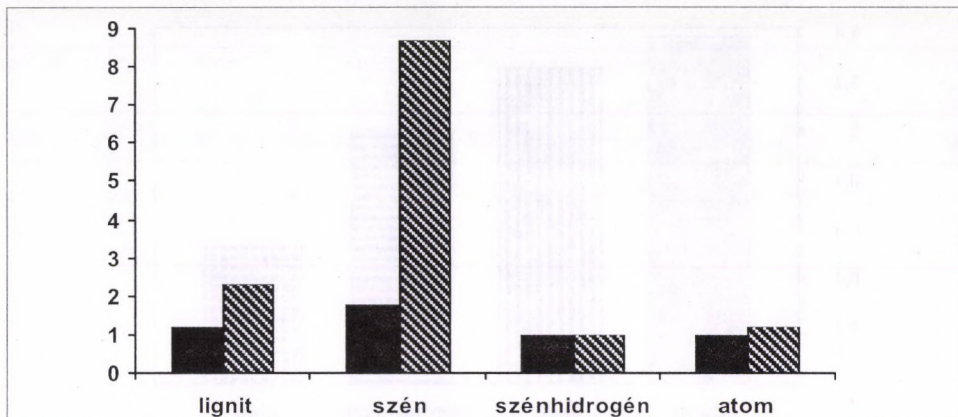
3 Vajda Gy.: Csernobil tanulsága. *Magyar Tudomány*, 1986. 31. (12) 970.



2. ábra. Halálos balesetek megoszlása

katasztrófa előfordulása. Természetesen azt nem lehet kizárni, hogy sokkal kisebb méretű környezetszennyezéssel járó zónaolvadási baleset Pakson is előfordulhasson, de ennek nagyon kicsi a valószínűsége. Pakson a biztonságnövelés révén a zónaolvadás valószínűségét sikerült egy nagyságrenddel csökkenteni, és megközelíteni az IAEA⁴ által a jelenleg épülő atomerőművekre ajánlott 10^{-5} valószínűséget. Ilyen valószínűséggel a lehetséges ártalmak számszerű mértéke nem riasztó, különösen ha e feltételezett következményt összevetjük a fosszilis erőművek folyamatos és tényleges környezetszennyezésének ártalmaival. A baleset determinisztikus következményeképpen fellépő sugárbetegségek lehetőségét a baleseteknél vettük figyelembe (ezek száma Csernobilban sem volt kiugróan nagy érték, mivel az ennek feltételét jelentő nagy dózis csak a reaktor közvetlen környezetében lépett fel). Ugyancsak a baleseteknél vettük figyelembe a mélybányászat számottevő munkahelyi környezeti ártalmait (szilikózis, ionizáló sugárzás okozta rák).

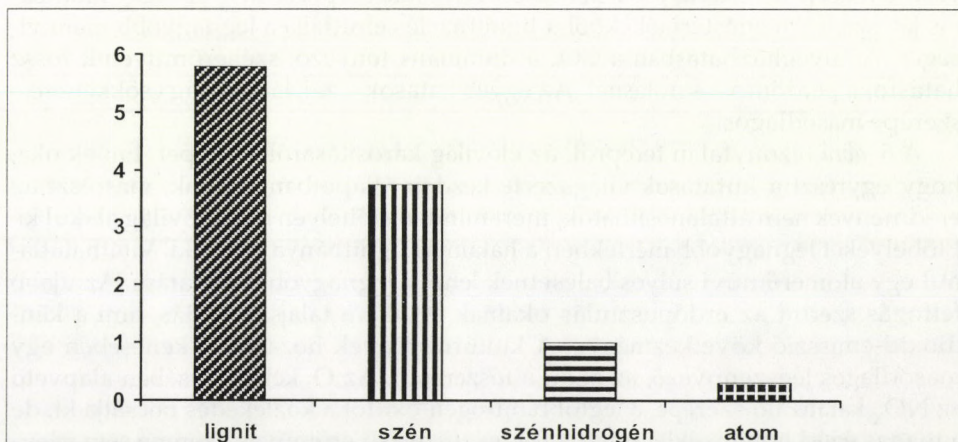
⁴ International Atomic Energy Agency (Nemzetközi Atomenergia-ügynökség).



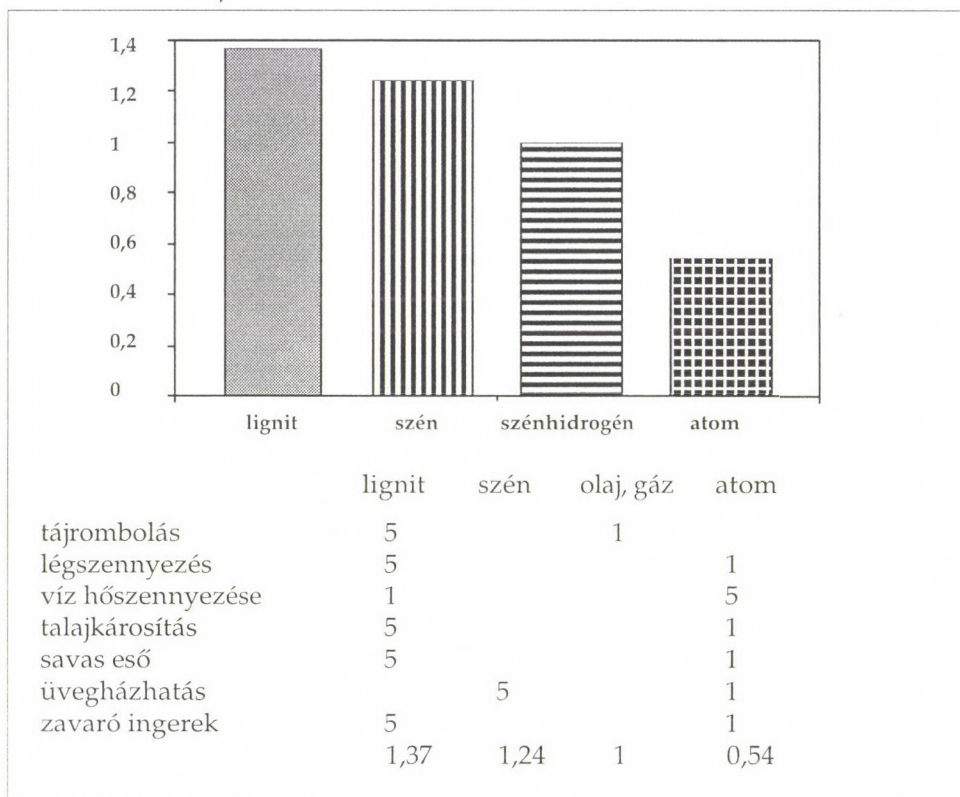
3. ábra. Balesetek relatív aránya

Az 5–12. ábrák azonos szerkezetűek, alsó részükben egy táblázat foglalja össze a figyelembe vett fontosabb hatásokat, 1-es, illetve 5-ös számmal jelezve a legkedvezőbb, illetve legkedvezőtlenebb változatot. Az ábra felső részében a hatások minősítésének összegzése alapján kialakított relatív arányok szerepelnek.

A környezetszennyezésnek az egészségkárosításon kívüli hatásairól ad képet az 5. ábra. Az atomos változat kedvező helyezése a kibocsátások kis mértékén múlik. A legnagyobb tájrombolást a lignit külfejtésének sok km²-es munkagödre jelenti. A légkör fizikai állapotát leginkább a széntüzelésből származó aeroszolok befolyásolják. A füstköd keletkezésében az aeroszolok és a savas alkotók, a fotokémiai ködképződésben az NO_x és CO szerepe meghatározó. Az élővizeket hővel a frissvízhűtésű erőművek szennyezik, fajlagosan az atomerőműből kell a legtöbb hőt elvezetni. A legnagyobb mértékű talajkárosítást is a lignitbányászat ro-



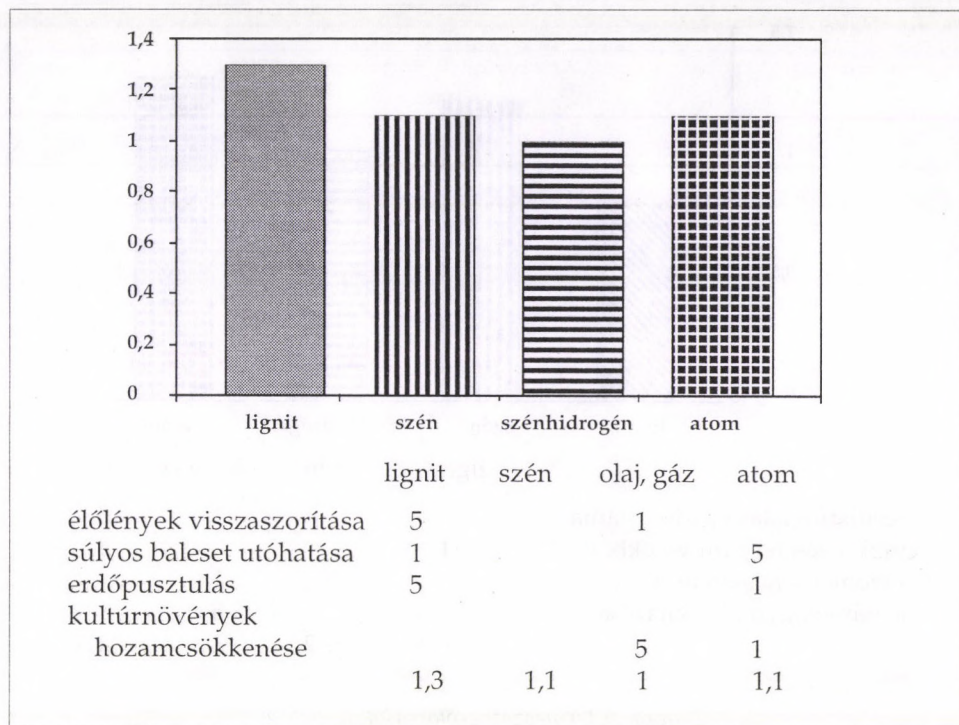
4. ábra. A lakosság környezeti ártalmai



5. ábra. Környezetszennyezés

vására lehet írni. A savas eső keletkezésében a főszerepet az SO_2 - és NO_x - kibocsátás játssza, ezen égéstermékekből a lignittüzelés emittálja a legnagyobb mennyiséget. Az üvegházhatásban a CO_2 a domináns tényező, szénerőműveink rossz hatásfoka perdöntő a sorolásnál. Az egyéb hatások – zaj, láthatóság csökkenése – szerepe másodlagos.

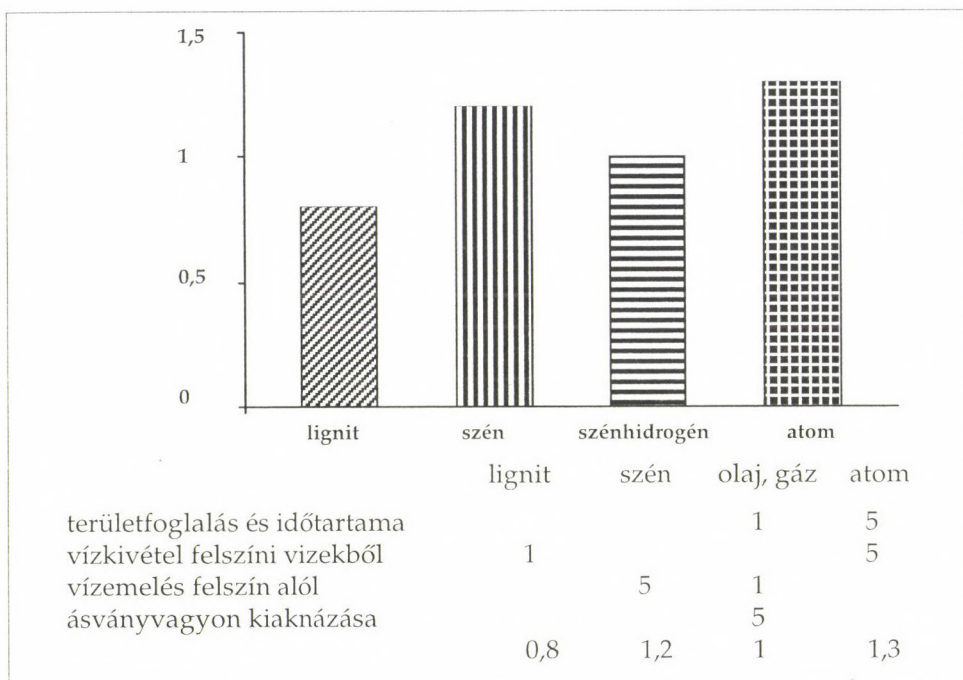
A 6. ábra bizonytalan terepről, az élővilág károsításáról ad képet. Ennek oka, hogy egyrészt a kutatások világszerte kezdeti állapotban vannak, másrészt az eredmények nem általánosíthatók, mert minden élőhelyen más élővilág alakul ki. Élőhelyeket legnagyobb mértékben a hatalmas lignitbánya szorít ki. Vitathatatlanul egy atomerőművi súlyos balesetnek lehet a legnagyobb utóhatása. Az újabb felfogás szerint az erdőpusztulás okainak egyike a talajsavasodás, ami a kén-dioxid-emisszió következménye. A kultúrnövények hozamcsökkenésében egy másodlagos légszennyező, az ózon a főszereplő. Az O_3 keletkezésében alapvető az NO_x katalizáló szerepe, a legtöbb nitrogén-oxidot a közlekedés bocsátja ki, de a magas égési hőmérséklet miatt a földgáztüzelésű erőművek szerepe sem jelentéktelen.



6. ábra. Az élővilág károsítása

Az emissziók mellett a környezet károsításában a természeti erőforrások terhelése is szerepet játszik (7. ábra). A villamos energetika – a védőtávolságok számításba vételével – az ország területének mintegy 1,5%-át fedi le. A területfoglalásnál nemcsak a lefedett térség nagysága, hanem az igénybevétel időtartama is lényeges, figyelembe véve a rehabilitáció időigényét is. A nukleáris változat rossz minősítését a radioaktív hulladékok hosszú tárolási ideje okozza. Az ország víz-szükségletének 60%-át az erőművek veszik igénybe, a legnagyobb tétel az atomerőmű hűtővize. A felszín alatti vízemelés meghatározó szereplője a bányászat, emlékeztet, hogy a dunántúli karsztvízrendszer egyensúlyának megbomlása miatt vissza is kellett fogni a bányászkodás mértékét. Az ásványvagyon kiaknázásában jó minőségű szénhidrogén-vagyonunk eltüzelése igényel megkülönböztetett óvatosságot.

Az anyagi károk meglehetősen heterogének (8. ábra), a legkedvezőbb minősítése a szénhidrogénes változatnak van. Az építőanyagok erózióját és a szabadtéri fém szerkezetek korrózióját elsősorban az aeroszolok és az alacsony pH-jú savas alkotók idézik elő, a legnagyobb kibocsátó a ligniterőmű. Az értékvesztés lehetősége (telekárak, termésvesztés, bányakárok stb.) is ennél a változatnál a legnagyobb. Jó néhány hatás az atomerőműnél a legkedvezőtlenebb, így az építkezések kárai és zavaró hatásai, ami a létesítmények méreteivel arányos,



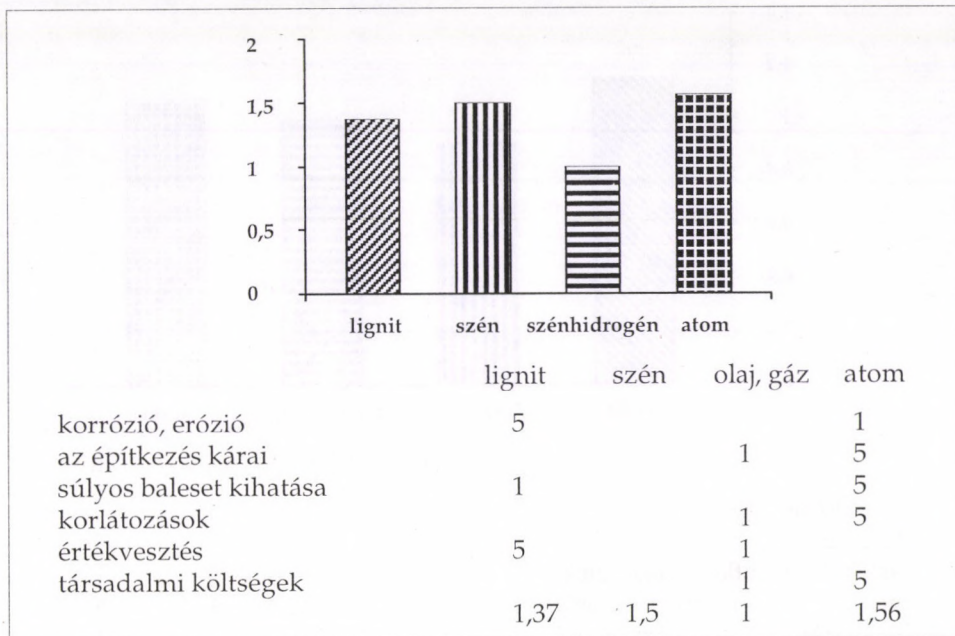
7. ábra. A természeti erőforrások terhelése

vagy egy esetleges baleset anyagi kihatása. A nukleáris változatnál jelentősek a lehetséges korlátozások (például megközelítés, szennyezett termékek fogyasztása), és a társadalmi költségek (őrzés, felügyelet, ellenőrzés) is nagyok.

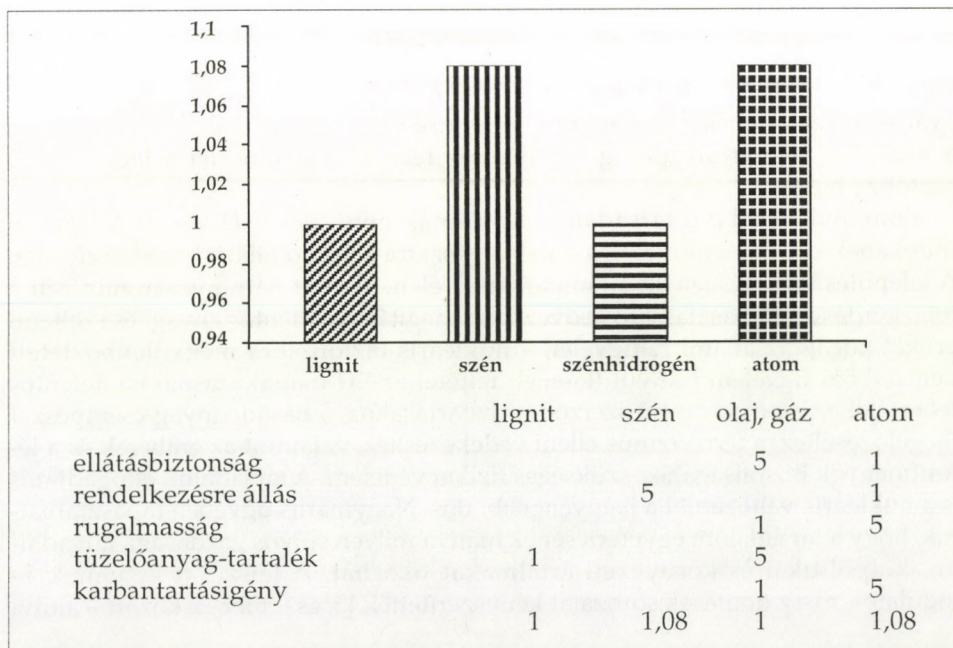
Érdemes az energiapolitikát érintő kockázatokat is bevonni a vizsgálat körébe (9. ábra). Nagy – az igények kétharmadát fedező – energiaimportunk miatt kényes kérdés az energiaellátás biztonsága. E tekintetben az atomerőmű stabilizáló tényező, mivel a fűtőelemek kiegészítése a reaktorban 3-4 éves üzemet fedez, és a további évekre is elegendő üzemanyag tárolása könnyen megoldható. A műszaki rendelkezésre állás is az atomerőműnél a legnagyobb, viszont a legnagyobb rugalmasságot a könnyen szabályozható szénhidrogén-erőművek biztosítják, ami megkönnyíti csatlakozásunkat a nyugat-európai villamosenergia-rendszerhez (UCPTE⁵). A legnagyobb tüzelőanyag-tartalékkal lignitből rendelkezünk, a legkevesebb karbantartást a szénhidrogénes változat igényli.

A vizsgált változatok makrogazdasági kölcsönhatásaiban lényegesen eltérő előnyök és hátrányok érvényesülnek (10. ábra). A fizetési mérleget a legnagyobb mértékben szénhidrogén-importunk terheli (a kiadásoknak több mint 10%-ával). A tőkeszükséglet a szénhidrogénes megoldásnál a legkisebb, viszont az árszínvo-

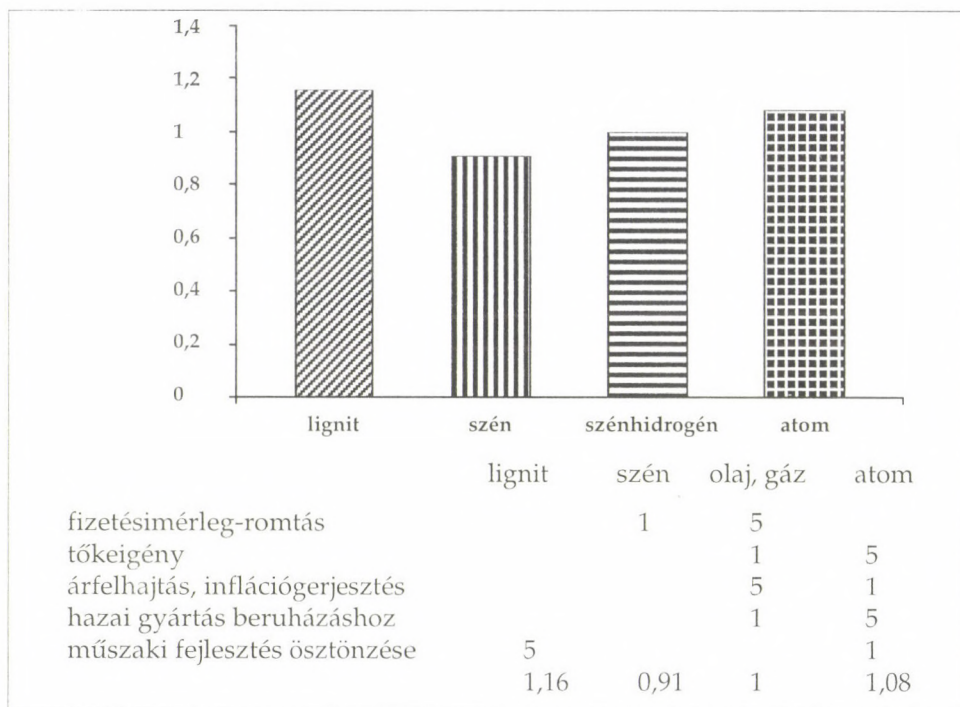
5 Union pour la coordination de la production et du transport de l'électricité (Villamosenergia-termelést és Szállítást Koordináló Egyesülés).



8. ábra. Anyagi károk



9. ábra. Energiapolitikai tényezők

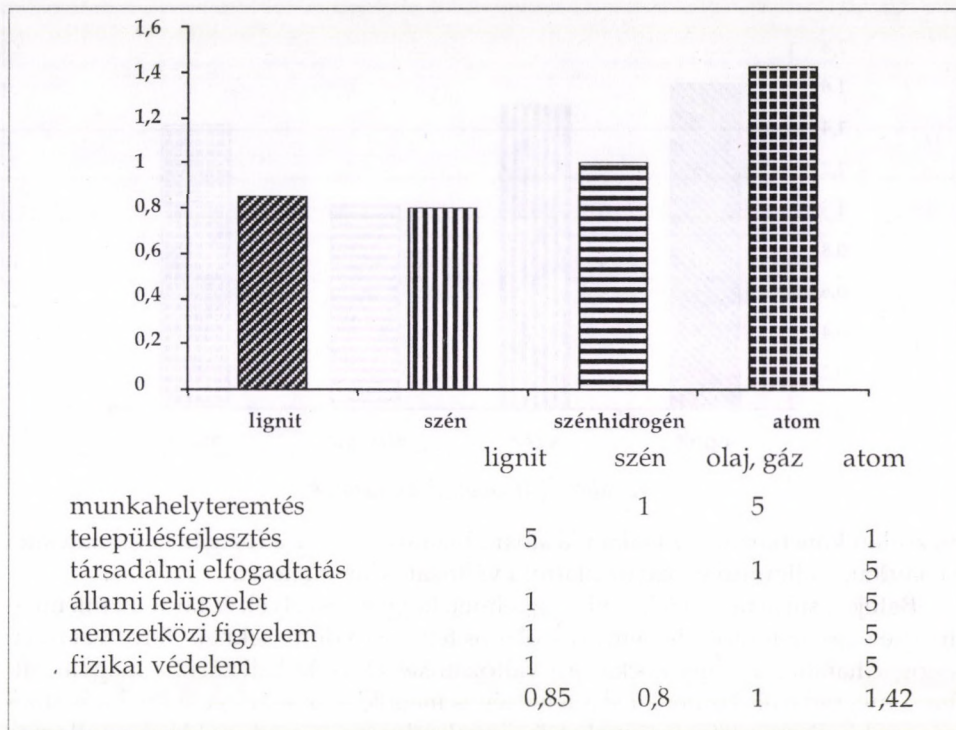


10. ábra. Makrogazdasági hatások

nalra és az inflációra legerősebben a kőolaj világpiaci ármozgása hat. A hazai gyártóipar beszállítási lehetőségei a szénhidrogénes változatnál a legnagyobbak, a műszaki fejlesztésre pedig a nukleáris technika gyakorolja a legnagyobb ösztönző hatást.

Bonyolult feladat a társadalmi problémák minősítése (11. ábra). A legtöbb munkahelyet a mélyműveléses szénbányászatra alapuló ellátási mód biztosítja. A településfejlesztésben az atomipar jár az élen, viszont hátrányosan minősíti a több kérdésben tapasztalható kedvezőtlen megítélése. Jelentős anyagi és szellemi erőket köt le az állami felügyelet, a nukleáris biztonságra megkülönböztetett nemzetközi figyelem irányul (kiemelt feltétel az EU-csatlakozásnál is). Jelentős tehertétel az atomsorompó-szerződés⁶ betartásához, a hasadóanyag-csempészet megelőzéséhez, a terrorizmus elleni védekezéshez, valamint az emberek és a létesítmények biztonságához szükséges fizikai védelem. A társadalmi elfogadtatás is a nukleáris változatnál a leggyengébb. Bős-Nagymaros ügyében tapasztalhattuk, hogy a társadalom egyetértésének hiánya milyen súlyos gazdasági, társadalmi, külpolitikai és környezeti ártalmakat okozhat. A felszított érzelmek és indulatok rossz döntések sorozatát kényszerítették ki, és – többek között – annyi

⁶ Non Proliferation Treaty (Atomfegyverek elterjedését megakadályozó nemzetközi szerződés).

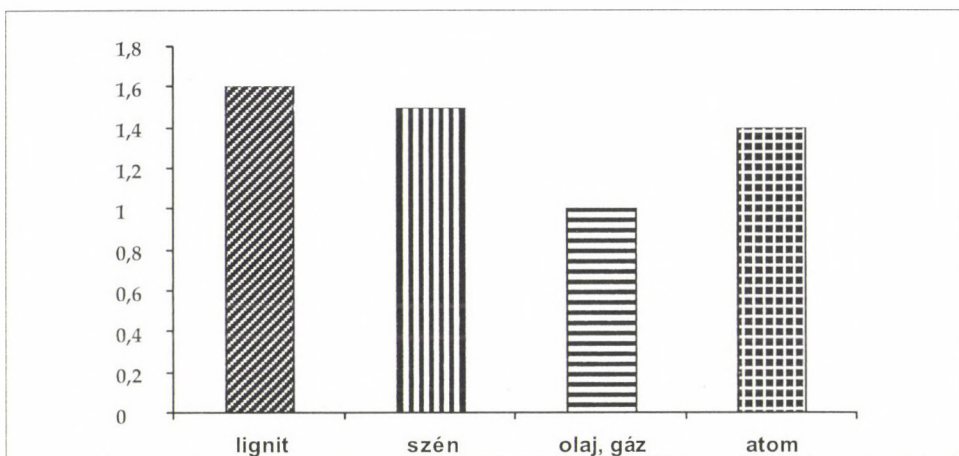


11. ábra. Társadalmi problémák

pénzt öntöttünk a Dunába, hogy az abból létrehozható munkahelyek száma meg-
egyezzen a statisztikailag nyilvántartott munkanélküliekével.

A 12. ábra a 3–11. ábrákon bemutatott sorolások összegzésével az eredő társa-
dalmi kockázatot kívánja érzékeltetni. A legkevesebb kedvezőtlen hatással, a leg-
kisebb kockázattal az olaj- és gáztüzelésen alapuló szénhidrogén változat jár,
ezért is ez volt a vonatkoztatási alap az előző ábrák összehasonlításainál. Termé-
szetesen kizárólag szénhidrogénekre nem alapozható egy nagyon erősen ener-
giaimport-függő ország villamosenergia-ellátása, a biztonsághoz többféle
forrásra támaszkodó, diverzifikált energiabázisra van szükség. A nukleáris válto-
zat a második helyre került, különösen erőforrás-igényessége és a társadalmi
problémák rontják kedvező helyzetét a környezetszennyezés terén. A legtöbb hát-
ránnyal a lignitbázisú villamosenergia-ellátás jár, a mélyművelésben termelt barna-
és feketeszén helyezése valamivel kedvezőbb.

Emlékeztetek arra, hogy a bemutatott vizsgálatok a Magyarországon tényle-
gesen működő létesítményekre vonatkoznak. Tervezett új létesítmények értékelé-
se ettől eltérő minősítésre és a változatok más sorrendjére vezethet. Példaképpen
említem, hogy ma már elképzelhetetlen lenne lignit- vagy szénerőmű létesítése
füstgáz-kénmentesítés nélkül. A figyelembe vett erőművek egyikében sincs ilyen
technológia, és a jelentős SO_x -kibocsátás lényeges szerepet játszik több ked-



12. ábra. Társadalmi kockázatok

vezőtlen következmény kialakulásában. Bizonyos, hogy a füstgáz kénmentesítése javítaná a lignitre és szénre alapuló változatok megítélését.

Befejezésül arra kell felhívni a figyelmet, hogy a veszélyek és kockázatok megítélése nagyon fontos, de nem kizárólagos feltétele a döntéseknek. Természetesen elfogadhatatlanul nagy kockázatú változatokat eleve ki kell zárni a megvalósítható megoldások köréből. De a lehetséges megoldások mérlegelésénél a biztonságon kívül más körülményeket is figyelembe kell venni, például a villamos energia költségét, a változatok tőkeigényességét, az illeszkedést az ország energiapolitikájának célkitűzéseivel, környezetvédelmi szempontokat, gazdaságpolitikai és iparpolitikai követelményeket, honvédelmi feltételeket, nemzetközi megállapodásokat (például az Európai Unió feltételeit) stb. Mindezek együttes kezelésének módja túlnő a kockázatzvizsgálatok témakörén, a döntésemélet tárgykörébe tartozik.

SZÉKÁCS ANDRÁS

A növényvédő szerek mint a modern élet kockázati tényezői

Javított-e a környezetünkkel fenntartott egyensúlyon a tudomány?

A francia felvilágosodás egyik legkiemelkedőbb gondolkodója, Jean-Jacques Rousseau, a Dijoni Akadémia körkérdésére, „Javított-e az erkölcsökön a tudományok és a művészetek újrakeletkezése?”, fogalmazta meg a 18. század derekán – a tudományoknak az emberi faj haladására gyakorolt hatásáról nem éppen kedvező – véleményét. Bár értekezése elsősorban a társadalomtudományok és a politika megítélésére összpontosít, s egyben korábbra datálódik, semhogy a tudományos megismerés bizonyította volna önnön gyakorlati teremtmény erejét, filozófiájának „vissza a természethez” gondolata mindinkább összecseng a manapság mutakozó, gyakorta tudományellenes társadalmi visszhanggal. Majd’ 250 esztendő elteltével legyen szabad az ő kérdését átfogalmaznom napjaink egy problémájára vonatkoztatva. Javított-e a környezetünkkel fenntartott egyensúlyon a tudomány? Szűkebb értelemben: hogyan maradhatunk egyensúlyban a természettel, melynek termékenységét (esetünkben mezőgazdasági termékenységét) mind fokozottabb mértékben próbáljuk kiaknázni? És mi a növényvédő szerek szerepe e problémában? Csodaszerek, melyek hatására megsokszorozódik a betakarítható termés, és valamennyi éhes szájba jut élelem? Vagy környezetpusztító mérgek, melyekkel az emberi faj tönkreteszi a Földet, de legalábbis gondoskodik önnön kipusztításáról? A probléma nem annyira a morálásra irányul, mint Rousseau kérdése (legalábbis nem a hagyományos társadalmi morálra, hanem egyfajta globális etikára), de mélyen filozófiai, s korántsem pusztán gyakorlati kérdés.

Növényvédő szerek és környezet

A modern kémiai növényvédelem mintegy hetvenéves múltra tekinthet vissza, mióta az ember készítette mesterséges vegyületek általános alkalmazást nyertek a mezőgazdasági gyakorlatban. Az igen rövid idő alatt hatalmas karriert befutó

növényvédőszer-készítmények bevezetésének és alkalmazásának érvrendszere hagyományosan az alábbi indoklásra vezethető vissza:

- a mezőgazdasági termelékenység növelése, közéletmezés,
- emberi munka kiváltása a mezőgazdasági termelésben,
- profit.

A fenti érvek (közegészségügyi szempontokkal kiegészítve), valamint a mind hatékonyabb és szelektívebb növényvédőszer-hatóanyagok kifejlesztése nem-hogy indokoltta, de igen rövid idő leforgása alatt elengedhetetlenné tették a növényvédő szerek alkalmazását az iparszerű mezőgazdaságban. Ám alig két évtized se telt el, s számos olyan riasztó tünetre derült fény, melyek egyértelműen jelezték, e vegyi anyagok használata jelentős, nemritkán súlyos mértékben zavarja a környezeti egyensúlyt és ezáltal közvetett vagy akár közvetlen módon az emberi egészséget, életet is.

A figyelmeztetések:

- Rovar-ellenállóság kialakulása a rovarellenes szerekkel szemben. (1970 és 1980 között csaknem megkétszereződött a növényvédő szerekre rezisztens rovarpopulációk mérete.)
- A gyomok és a mezőgazdasági kártevőnek tekintett gombák között is erőteljesen nőtt a rezisztencia az elmúlt 2,5 évtizedben. A probléma öngerjesztő: az ellenállóság miatt mind nagyobb mennyiségű növényvédő szert kell alkalmazni, ami – kémiai szelekciós tényezőként hatva – meggyorsítja a rezisztens egyedek kiválasztódását.
- Új mezőgazdasági kártevők megjelenése a természetes ellenségek pusztítása következtében (főként a rovarkártevők körében).
- Egyes szerves klórvegyület (endoszulfán) és szerves foszforvegyület inszekticidek (klórpirifosz), valamint számos piretroid (bioresmetrin) toxicitása halakra. A klórpirifosz emellett számos más állatfajra is toxikus, melyek között az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (EPA) kimutatása szerint több mint 100 kipusztulással veszélyeztetett faj is megtalálható.
- Növekvő mortalitás a természetes madárállományban (23 madárfajban, melyek között költöző és nem költöző, vízi- és énekesmadarak egyaránt megtalálhatók) a klórozott szénhidrogén-inszekticidek (DDT, dieldrin) és egyes szerves foszforvegyületek (diazinon) alkalmazása nyomán.
- A DDT és metabolitjai kimutathatók állatszervezetekben a déli sarkkörről, illetve egyéb nem kezelt területekről.
- Emberi hatások (késleletett neuropátia, rákbetegségek, hormonszint-rendellenességek).
- Agrokémiai szempontok, pl. a talajok elszegényedése tápanyagokban a fokozott termesztés, ill. kiegyensúlyozatlan utánpótlás (trágyázás, műtrágyázás) miatt.

Szemben a korai növényvédőszer-hatóanyagokkal, elsősorban a rovarellenes vegyületekkel (inszekticidekkel), melyek gyakorta nem csupán a rovarokra, de a

magasabb rendű szervezetek idegrendszerére is ható, általános mérgek voltak, a mai hatóanyagok lényegesen célzottabb hatásúak (szelektívebbek), s összehasonlíthatatlanul szigorúbb toxikológiai követelményeket támasztó vizsgálatokon esnek át az engedélyeztetési eljárás során. Ennek ellenére az a tény, hogy a vegyületek ha mégoly környezetkímélők is, befolyásolják, megváltoztatják környezetünk állapotát, korántsem meglepő. Mielőtt tehát konkrétan áttekintenénk a növényvédő szerekkel kapcsolatban az elmúlt bő évtizedben felvetődött legfontosabb toxikológiai aggályokat, vessünk egy pillantást a helyzetre általánosságban, modellszinten!

Az ökológiai és ökonómiai modellek

Az iparosodás, a nagyüzemi mezőgazdasági gyakorlat megjelentével az ember lényegében természetidegen elemeket vezetett be a környezetben. Ezen elemek legdöntőbbike a nagy parcellás, monokultúras termesztés, mely szöges ellentétben áll a háborítatlan természeti közegekben tapasztalható és az ökológiai egyensúly alapját képező fajgazdagsággal, diverzitással. A termelékenység és a gépesíthetőség érdekében olyan rendszert vezettünk be, amely ellentmond a természetes kiválasztódásnak, s egyben – afféle terített asztalként – célpontul is szolgál a kártevők számára. E potenciálisan megnövekedett kártétel visszaszorítására hivatottak a növényvédő szerek, illetve tágabb értelemben a növényvédelmi technológiák. A rendszer jellegzetesen nem egyensúlyi, hiszen ha magára hagynánk, a természet maga gondoskodna arról, hogy visszaálljon a fajgazdagság.

Megbontjuk tehát az „ember nélküli” egyensúlyt, csak az a kérdés, milyen mértékben. Az első hangok legerősebbike, amely arra figyelmeztetett, hogy a növényvédő szerek súlyos és helyrehozhatatlan következményekkel járhatnak az ökológiai rendszerekben, Rachel Carson könyve, a *A néma tavasz* volt [1]. Ezt követően az élettudományok különféle területein dolgozó szerzők kezdetben szűk, majd egyre bővülő számban majd’ négy évtized óta hívják fel a figyelmet egy lehetséges „ökológiai karatsztrófa” veszélyére, ám az ipari és mezőgazdasági érdekcsoportok viszonylag lassan, csak jelentős kezdeti ellenállás után fogadták el a figyelmeztetéseket. Túl azon, hogy *A néma tavasz* nemzetközi botránykő lett, nem csupán a növényvédőszer-ipar – érthetően elfogult – haragját vívta ki, de az általános tudományos közélet kezdeti közömbösségébe, sőt elítélésébe kellett ütköznie. S azokat a szakembereket, akik a természet állapotáért aggódva a növényvédő szerek alkalmazásának mérséklését, egyes szerek betiltását sürgették, nemritkán hisztérikus öko-megszállottaknak, rosszabb esetben szenzációhajhász szélhámosoknak nevezték. A Nobel-díjas Norman Borlaug az FAO 1971-es római konferenciájának díszelőadásában még így fogalmazott [2]:

„A »természettel való egyensúly« kliséje, melyet modern világunk környezetvédői oly gyakorta emlegetnek, nagyon félrevezető. Arra utal, mintha létezne egy kedvezményezett »természeti egyensúly«, amely biztosíthatná kultúrnövényeink védelmét, ha az ember nem zavarta volna meg a »természeti egyensúlyt«. Ez

természetesen nem igaz, mint ahogy nem létezik egyetlen a természettel nem egyensúlyban levő ökoszisztéma sem.”

Borlaug mindkét állítása igaz, már amennyiben az emberi tevékenységet is a természeti egyensúly részének fogjuk fel. Ha azonban úgy tekintjük, hogy az ember valami olyat kíván meg a természettől, amelyet az magától nem vagy nem ilyen mértékben adna meg, a természettel való viszony korántsem egyensúlyi, hiszen éppen ez a nem egyensúlyi állapot az, amely fenntartásához folyamatos emberi beavatozást igényel. S az is igaz ugyan, hogy az „ember nélküli” egyensúlyban sem nyerhetnének *per se* védelmet a természet növények, ám a fokozott termelékenység mellett a potenciális kártétel mértéke is fokozódik. Az életközösségek rendszere nem merev, hanem nagyon is rugalmas rendszer, amely dinamikusan válaszol a külső tényezőkre, s idővel – ha nem is szükségképpen, de lehetőségképpen – kialakulnak azon kártevőfajok, amelyek képesek lesznek a védekezés ellenében is a fokozott pusztításra. Ugyanez igaz a növényvédő szerek többi környezeti hatásaira is: a természetes egyensúly mérhetetlenül sok életfolyamat évmilliók alatt egymásra épült rendszere, így aligha várható, hogy az emberi beavatkozás – ha mégoly célzott is – kizárólag a kívánt helyen fejtsse ki hatását.

A helyzetet tovább bonyolítja a kémiai növényvédelem közgazdasági megítélése. A gazdasági modell anomáliáira, nevezetesen a természeti értékek közgazdasági értelmezésének hiányosságaira hívta fel a figyelmet egyebek között Robert Repetto, a Nemzetközi Erőforrások Intézetének (World Resources Institute) vezetője 1992-es tanulmányában [3], melyet az ENSZ Rio de Janeirói Környezetvédelmi és Fejlesztési Konferencia felhívásaként tett közzé. A közgazdaságtan értelmezése szerint a jövedelem három forrásból származhat: (a) természeti erőforrásokból, (b) emberi erőforrásokból és (c) befektetett tőkéből. A korai, klasszikus közgazdászok a természeti erőforrások szerepét jószerivel teljesen kihagyták a modelljükből (ezek nagy fölöslegben való hozzáférhetősége miatt közgazdasági értékük matematikailag is elhanyagolható volt), s kizárólag a munkára és a befektetett tőkére összpontosítottak. Amikor pedig a II. világháborút követő időszakban ezeket az elméleteket a harmadik világ fejlődésére kezdték alkalmazni, a „munkaerő-fölösleg” miatt már az emberi erőforrások is kimaradtak a számításból, és a fejlődést kizárólag a nyereség és a befektetett tőke aránya szerint értelmezték.

A természeti erőforrások figyelembevétele ugyanakkor nem csupán a befektetés, de még az „állóeszközök” szintjén sem valósul meg. Az épületek, berendezések és az egyéb gyárilag előállított termelőeszközök jövedelemtermelő állótőkének minősülnek, s értékcsökkenésüket a termelési költségek részének tekintjük. (Ez a matematikai modell annak a felismerésnek a tükröződése, hogy a fogyasztás nem tartható fenn folyamatosan, ha nem gondoskodunk az elhasznált állóeszközök pótlásáról.) Az elhasznált természeti erőforrások viszont nem pusztán a befektetési költségek között, de az amortizációs költségek között sem szerepelnek. Jelenleg a természeti kincsek fogyása még akkor se jelenik meg a költségek összesítésében, ha egyértelmű, hogy ez a jövőben a termelés súlyos

visszaesését okozhatja. Ez vezethetett egyes – főként fejlődő – országok erőteljes környezeti elszegényítéséhez és a növényvédő szerek állami szubvenciója nyomán növekvő hatóanyag-bevitelhez és környezeti terheléshez [4]. Bár az ún. fenn tartható gazdálkodási modellek [5] a természeti értékek változását is bevonják a gazdaságossági vizsgálatok tárgykörébe, még várat magára, hogy e szemlélet a mindennapok mezőgazdasági termelésének gyakorlatában is megjelenjen. Addig pedig a növényvédő szerek is könnyen beleszorulnak a „szükséges rossz” kategóriájába, melyek használata gazdasági értelemben is nehezen tartható összhangban a globális környezeti egyensúllyal, s amelyek így szükségképpen kedvezőtlen természeti hatásokat is kifejtenek.

Környezet-toxikológiai problémák és hatóanyag-fejlesztés

A növényvédő szerek fejlődése tehát újabb s újabb szerek bevetésének, majd a nemkívánt mellékhatások megjelenése miatti kivonásának története. Minden újabb készítménnyel újabb lehetséges környezetszennyező, toxikus vagy ökoló giailag káros mellékhatások megjelenését kockáztatjuk, s ezen mellékhatások rendre meg is jelennek. A mind újabb szerek és módszerek mind kifinomultab bak, hiszen kifejlesztésükkor már tekintetbe vették a korábbi készítmények kap csán felmerült problémákat is. Ezzel párhuzamosan azonban számos olyan mellékhatást is felismertünk, amelyekre korábban nem is gondolt a hatóanyag-fejlesztő. Lássuk hát e történet főbb epizódjait a tekintetben, ahogy fény derült a növényvédő szerek egyes környezeti kockázati tényezőire!

Toxikológiai aggályok (*bal oldali oszlop*) és válaszok (*jobb oldali oszlop*) a növényvédő szerekkel kapcsolatban

| | | | |
|----------------|--|--------------|---|
| 1962 | A néma tavasz <i>The Silent Spring</i> (Rachel Carson) [1] | 1970-es évek | Integrált növényvédelem (IPM) [7] |
| 1978 | A növényvédőszer- összeesküvés <i>The Pesticide Conspiracy</i> (Robert van der Bosch) [6] | | |
| 1979 és később | növényvédő szerek mint rákkeltő anyagok (Ames-teszt) | 1997 | Szennyezés, növényvédő szerek és a rák: téveszmék <i>Pollution, Pesticides and Cancer: Misconceptions</i> (Bruce Ames és Lois S. Gold) [10] |
| 1987 | Növényvédőszer-figyelmeztető <i>The Pesticide Alert</i> (Lawry Mott és Karen Snyder) [8] | | |

| | | |
|------|--|---|
| 1996 | A növényvédő szerek és az immunrendszer <i>Pesticides and the Immune System</i> (Robert Repetto és Sanjay Baliga) [11] | 1980-as évek Organikus mezőgazdaság, biotermesztés |
| 1996 | Ellopott jövőnk <i>Our Stolen Future</i> (Theo Colborn, Dianne Dumanoski és John Peterson Myers) [12] | 1990-es évek Fenntartható mezőgazdaság Sustainable Agriculture[5] |

Ökotoxikológiai problémák és a biodiverzitás zavarai a növényvédő szerek alkalmazása kapcsán

Az 1960-as évek első figyelmeztető kiáltása, *A néma tavasz* az ún. „hagyományos” vagy első generációs növényvédő szerek toxikus hatásaira s a bonyolult életközösségekben megjósolhatatlanul szerteágazó következményeire hívta fel a figyelmet [1]. Legfőbb célpontjai az idegműködés megzavarása révén ható rovarellenes szerek voltak. A könyv jószereivel egy évtizedig pozitív válasz nélkül maradt tudományos körökben – legfeljebb cáfolni próbálták érveit. Riasztó következtetéseiben valóban némileg túlzónak bizonyult, ebben azonban komoly szerepe volt annak, hogy érvrendszerét fokozatosan elfogadta a mezőgazdasági kutatás, s így a megjósolt katasztrófa elmaradt. Emellett a könyv érdeme, hogy nagyban hozzájárult a DDT és más klórozott szénhidrogén-inszekticidek forgalmának korlátozásához, egyes országokban e szerek betiltásához. Carson és követői számlájára kell írunk azonban azt a tényt is, hogy teret nyitottak a kemofóbiának, a növényvédőszer-ellenes hangulatnak a közvéleményben. Jószereivel *A néma tavasz* indította meg azt a folyamatot, amelyben a II. világháború után mezőgazdasági és közegészségügyi csodaszernek tekintett növényvédő szerek, melyek emberéletek millióit mentették meg, fokozatosan azokká a mérgekké lettek a közvélemény előtt, amelyekkel a vegyipari növényvédőszer-gyártók mérgeznek bennünket önön profitjuk érdekében. S ilyen végletes hangokat nem csupán a laikus közvélemény szájából hallhatunk: Robert van der Bosch, a Kaliforniai Egyetem Berkeley campusának professzora 1978-ban kiadott könyvében, melynek címe *A növényvédőszer-összeesküvés*, a növényvédőszer-gyártó és -forgalmazó cégeket érdekszövetségbe tömörülő maffiaként írja le, amely behálózta az Egyesült Államok mezőgazdaságát, a jogalkotó és szabályozó állami testületeket s a tudományos kutatást is [6].

A néma tavasz és a hasonló hangú kiadványok erőteljes nyomása, az ökötoxikológiai és bioakkumulációs problémák, valamint a mezőgazdasági kártevők mind szélesebb körében mutatkozó növényvédőszer-ellenállóság együttes hatására 1985-ig összeállították a betiltásra kerülő szerek listáját. Az ezen szereplő „piszkos tizenkettő” később tizennyolc hatóanyagra bővült. Ezzel párhuzamosan

alternatív mezőgazdasági gyakorlatként kialakították az ún. integrált növényvédelem (Integrated Pest Management, IPM) módszertanát, mely döntően az alábbi elvekre épül [7, 8]:

- Nem törekszik a kártevő-populáció teljes kipusztítására, csupán a kártétel szempontjából kritikus egyedszám alá igyekszik szorítani azt. A védekezést csupán bizonyos kártételszint felett indítja meg, egyben kártevőnként, klimatikus területenként és növénykultúránként definiálja e kritikus szinteket.
- Tekintetbe veszi a kártevők populációdinamikáját, melyet rendszeresen követ, monitoroz.
- A növényvédő szerek alkalmazását biológiai módszerekkel (pl. természetes ellenségek) kombinálja.
- Nem használ bioakkumulálódó (pl. a zsírszövetekben felhalmozódó) növényvédő szereket, kerüli az általános hatású növényvédő szerek (totálherbicidek, idegméreg inszekticidek) alkalmazását, s a szelektív (pl. hormonális) hatású, célzott hatáshelyű növényvédőszer-hatóanyagokat részesíti előnyben.
- Kerüli a széles körű permetezést, s a növényvédő szereket célzottan a kártétel helyére juttatja ki.

Az IPM-gyakorlatnak köszönhetően visszaszorultak a durva környezetszennyezési, illetve toxikológiai problémát okozó esetek, s az új növényvédő szerek fejlesztése egyértelműen a környezetkímélő hatóanyagok felé tolódott el. Mindazonáltal ez korántsem jelentette azt, hogy megszűntek volna a növényvédő szerek káros mellékhatásai. Kijuttatásuk folytán a növényvédő szerek és maradékaik továbbra is bekerülnek a felszíni és ivóvizekbe, az élelmiszerekbe, tágabb értelemben a környezetbe. Bár a DDT, klordán, heptaklór, aldrin és dieldrin az 1970-es évek óta betiltott szerek az USA-ban egy 1983-as vizsgálat szerint szinte minden US-állampolgárban ott találhatók maradékai, és ez Magyarországon sincsen másképpen. (Az Országos Élelmezés- és Táplálkozás-tudományi Intézet vizsgálatai 1976 és 1986 között szoptatós anyák anyatejében, ill. budapesti lakosok emberi zsírszövetében is kimutatta a DDT-t és metabolitjait.) A rendszeresen közzétett amerikai vizsgálatsorozat keretében 1987-ben legalább 20 káros mellékhatású növényvédő szert találtak talajvizekben, s e szermaradékok száma és mértéke annál nagyobb, minél erőteljesebb a mezőgazdaság (kémiai növényvédelem) az adott államban. S az is tény, hogy a világ inszekticid-felhasználásában mind a mai napig jelentős szerepet töltenek be a kolinerg rendszerek gátlásán alapuló készítmények (pl. *N*-metil-karbamátok), melyek – bár hatásukat fokozottan a rovarokra fejtik ki – potenciálisan minden idegrendszerrel bíró élőlényre hatással lehetnek.

Az IPM-gyakorlattal párhuzamosan egy másik, erőteljesebben növényvédőszer-ellenes ágazat is létrejött, melyet az Egyesült Államokban szerencsétlen névvel organikus természetűnek neveztek el. Az organikus szó itt nem a szerves kémiai vegyületekre utal, hanem arra, hogy a módszer a természettel fenntartott szerves egyensúlyra törekszik, s a mesterséges növényvédő szereket száműzi eszköztárából. (A metodika másik elnevezése, a biotermesztés nem kevésbé szeren-

csétlen terminológia, hiszen növénytermesztésről lévén szó, aligha képzelhető el abiotikus termesztés.) Az organikus termesztés pozitív aspektusa, hogy kísérletet tesz a „természetidegen” termesztési eszközök visszaszorítására, ugyanakkor belső ellentmondásai közé tartozik, hogy úgy tekinti, mintha a természetes eredet biztosíték lenne a káros mellékhatások kiküszöbölésére, különbséget tesz adott természetes vegyület és annak mesterségesen előállított természetazonos változata között, és – nem utolsósorban – mezőgazdasági módszerként nehezen megvalósítható.

A növényvédő szerek rákkeltő hatásai

A következő súlyos aggály a növényvédőszer-maradékok karcinogén, rákkeltő hatásaival kapcsolatban merült fel. Ez volt a másik súlyos aggodalom, amelyet *A néma tavasz* is felvetett. Míg az élelmiszerek növényvédőszer-tartalma általános egészségügyi veszélyforrást jelent, e hatás még erőteljesebb a növényvédő szerekkel dolgozó, növényvédő szereknek fokozottan kitett mezőgazdasági munkások között. A krónikus, széles körű és kis dózisú növényvédő szereknek való többszörös kitettség kumulatív hatásait csak részben ismerjük. Az Egyesült Államok Országos Rákkutató Intézete (National Cancer Institute) 1987-es kimutatása szerint a herbicideknek kitett farmerok kockázati tényezője bizonyos rákbetegségekre (lymphoma és lágyszöveti szarkóma) a hatszorosa a normál populációénak. Hasonló hatás tapasztalható a leukémia és az általános rák-mortalitás terén is. Még ijesztőbbek egy szintén 1987-es vizsgálat eredményei, melyek szerint a gyermekkori leukémia kialakulási esélye hétszer nagyobb volt olyan gyermekek között, akik háztartási és kerti növényvédő szereket alkalmazó háztartásban nőttek fel, a növényvédő szereket nem alkalmazó háztartásokban nevelkedő gyermekekhez képest.

A karcinogén hatások kockázatbecslése nem csupán orvosi statisztikai értékelésekre épülnek: az ez irányú kutatásoknak nagy lökést adott egy *in vitro* vizsgálati módszer, az ún. Ames-teszt kifejlesztése 1973-ban. E bakteriális teszt lényegében a kérdéses vegyület mutagén hatását vizsgálja, azzal a kiegészítéssel, hogy máj-homogenizátumot, így az emlős-metabolizmus kulcsenzimeit is tartalmazza, vagyis miniatűr metabolikus rendszer. Az Ames-tesztben több száz ismert karcinogén vegyületet vizsgálva, szoros korrelációt találtak a karcinogén és mutagén hatás között, így a továbbiakban minden új vegyület feketelistára került, ha az Ames-tesztben pozitívnak bizonyult [9]. Maga Ames igen szigorú szabályozást javasolt a mutagén vegyületek tekintetében: minden olyan anyag tiltását javasolta, amely bármilyen szervezetben mutagénnek bizonyult, s egyben ezen vegyület teljes betiltását is, hiszen egyetlen mutagén molekula is képes a mutáció beindítására. A figyelem újfent az ipari környezetszennyezők s ezen belül is a növényvédőszer-maradékok felé fordult.

Amint *A néma tavasz* esetében, úgy itt is erősen túlzónak bizonyultak a kezdeti riadalmak. A későbbiekben mélyrehatóbban sikerült megismerni a szervezet le-

hetséges védekezőmechanizmusait a karcinogén vegyületekkel szemben, s egyes antikarcinogén vegyületeket (pl. A-vitamin, retinoidok, antioxidánsok), amelyek a metabolizmus megváltoztatása, az aktív karcinogén molekulagyökök befogása vagy azok kötődésének kompetitív gátlása révén biztosíthatnak védőhatást. Emellett fokozódó bizonytalanság mutatkozik az állati tesztekben észlelt karcinogén hatásoknak az emberre való vonatkoztatása terén is. A döntő hatást azonban, amely mintegy megfordította a mutagén vegyületek „hivatalos” megítélését, az jelentette, hogy egyes természetes vegyületek (pl. pszoralének, brasszolidok, kumarinok stb.), melyeket természetes étrendünkben nagyságrendekkel nagyobb mennyiségben fogyasztunk, mint a szervezetünkbe bejutó növényvédőszer-maradékok, erősebb mutagén hatást mutattak az Ames-tesztben az említett szermaradékoknál. Másfél évtized elteltével *Szennyezés, növényvédő szerek és a rák: téveszmék* című dolgozatukban [10] Bruce Ames és Lois Gold rehabilitálják a növényvédő szereket, leszögezve, hogy „sem epidemiológiai, sem toxikológiai adatok nem támasztják alá azt a feltevést, hogy a szintetikus ipari vegyületek jelentős tényezők lennének az emberi rákbetegségben. [...] Bár egyes epidemiológiai vizsgálatok összefüggést találtak a rák és bizonyos kis dózsisú ipari szennyezőanyagok között, ezen összefüggések rendszerint gyengék, az eredmények többnyire ellentmondóak, és e vizsgálatok nem alkalmasak a táplálkozásban nagy mennyiségben jelen levő egyéb faktorok figyelembevételére. Emellett az e szintetikus szennyezőkkel való expozíció igen kicsiny, és aligha lehet hihető oksági faktor a rágsálókon karcinogéneknek talált természetes vegyületek mellett.” Értékelésükben külön kitérnek a növényvédő szerek alkalmazásának kockázatára, és a szintetikus növényvédő szerekkel kapcsolatos aggályokat túlzottnak ítélik. Mi több, úgy látják, a növényvédőszer-maradékok szintjének további csökkentése egyenesen káros a rákbetegség szempontjából: a növényvédőszer-mentesség feleslegesen megdrágítja a zöldségeket és gyümölcsöket, így a társadalom széles rétegei csak kisebb mennyiségben fogyaszthatják azokat, márpedig a zöldségekben és a gyümölcsökben juttatunk szervezetünkbe a legnagyobb mennyiségben antikarcinogén védővegyületeket. A DDT bioakkumulációjával kapcsolatos aggályokra is kitérve, megjegyzi, hogy a DDT és metabolitja toxicitási és karcinogénitási tulajdonságaikra nézve ártalmatlanok, s a szer alkalmazása lényegesen több életet mentett meg annál, semhogy kételkedhetnénk az egykori alkalmazás ésszerűségében. S ha mindez nem elegendő érv, leszögezik, hogy a rákbetegségek elsődleges okai nem a növényvédő szerek és ipari környezetszennyezők, hanem (sorrendben) (1) a dohányzás, (2) a kiegyensúlyozatlan étrend (kevés zöldség és gyümölcs), (3) krónikus fertőzések (többnyire a fejlődő országokban) és (4) az életvitelből adódó hormonális tényezők.

Immunmoduláns hatású növényvédő szerek

Ám alig látszik elülni a karcinogén-vita, a növényvédő szerek máris újabb viták keresztútjában találják magukat. A korábban említett Robert Repetto, valamint

Sanjay Baliga arra hívják fel a figyelmet, hogy egyes növényvédő szerek (melyek többnyire mára betiltott készítmények, de napjainkban is használatos szereket is találunk közöttük) károsan befolyásolják az állati és emberi immunrendszert [11]. Széles körű irodalmi áttekintésükben kimutatják, hogy különféle célzott immunológiai vizsgálatok száznál is több növényvédőszer-hatóanyaggal kapcsolatban jeleztek indukált immunpatológiai, humorális, sejtszintű és nem specifikus immunitási változásokat, zavarokat. Ennek alapján sürgetik, hogy az immuntoxicológiai tesztek fokozottan bekerüljenek a növényvédőszer-engedélyezési eljárásokban megkövetelt vizsgálatok körébe, s leszögezik, hogy ennek ügyében a Nemzetközi Erőforrások Intézete erőteljes lépésekre készül. Érvelésükben arra is figyelmeztetnek, hogy a fejlett országokban régóta korlátozott vagy betiltott növényvédő szereket a világ más területein – elsősorban a fejlődő országokban és a volt Szovjetunió utódállamaiban – napjainkban is alkalmaznak.

A következő fenyegetés: endogén zavarkelő hatások

1996-ban közzétett tanulmányukban, az *Ellopott jövőnk* című könyvben [12] Theo Colborn, Dianne Dumanoski és John Peterson Myers azt állítják, hogy természeti esettanulmányok, laboratóriumi tesztek és humán vizsgálatok egyaránt alátámasztják, egyes, az ember által előállított és kijutatott mesterséges vegyületek, így bizonyos növényvédő szerek, nagyszámú állatfajban és az emberben is szexuális fejlődési és reprodukciós rendellenességeket okoznak. Ezek a belső hormonháztartást befolyásoló (endocrine disrupting chemicals – EDC) vegyületek többnyire nem az expozíciónak kitett egyedekre, hanem embrionális korukban az utódokra fejtik ki hatásukat, mely hatások csupán később, azok kifejtett korában manifesztálódnak. Az EDC vegyületek – a definíció szerint – azon szintetikus vagy természetes előforuló anyagok, amelyek befolyásolják az állati és az emberi szervezetek normál hormonális működését. Hatástípusuktól függően az ösztrogén-, illetve androgén-modulátorok osztályába csoportosítjuk őket, vagyis az ösztrogén és az androgén nemi hormonok hatását fejtik ki a szervezetre, vagy éppen fordítva, gátolják ezen hormonok működését.

A legelső szintetikus EDC vegyületek egyike a dietil-sztilbesztrol volt, melyet 1948 és 1972 között terhes nők gyógyszeres terápiájában alkalmaztak a vetélések megelőzése céljából. A gyógyszerrel később kiderült, hogy az utódokban rákos elváltozásokat, ill. genitális rendellenességeket okoztak. Hasonló hatásokat növényi eredetű természetes vegyületekről, így fitoszterolokról és izoflavonoidokról is kimutattak. Hamarosan egy harmadik vegyületcsoport, az ún. környezeti endokrin faktorok csoportja is az ez irányú vizsgálatok középpontjába került. Ezen EED vegyületek (Environmental Endocrine Disruptors) közé azon környezet-szennyezőnek tekintett szintetikus vegyületeket soroljuk, melyek megzavarják a természetes hormonháztartást. Colborn és munkatársai eredeti közleménye mintegy 50 feltételezett EED anyagot sorol fel, mely „hivatalos” lista 1996 óta 67 vegyületet ölel fel [13]. A mezőgazdaság, ezen belül a kémiai növényvédelem

szempontjából ijesztő tény, hogy az említett 67 vegyület közül 47 növényvédő szer, illetve a növényvédő szerekkel kapcsolatos metabolit vagy elsődleges intermedier, és csupán kisebb hányad tartozik az általános szerves vegyületek, nehézfémek, ill. poliaromás szénhidrogének közé. E lista természetesen esetleges, mind a feltételezett hatások, mind pedig a vizsgálatok tárgykörébe vont vegyülettípusok tekintetében (mely utóbbi ez idáig korántsem kedvez a növényvédő szereknek, és egyben erősen terhelt az általános növényvédőszer-ellenes közvélemény politikai hatásaival). Minthogy napjainkban közel 600 engedélyezett növényvédő szert és több mint 80 ezer ipari vegyületet ismerünk, az EED vegyületek listája tovább fog bővülni, s így várható, hogy az agrokemikáliák megítélése is valamegyest realisabb keretek közé jut.

Az EED vegyületek vizsgálatainak jelentős része ezen anyagoknak a természetes állatállományra kifejtett hatásaira, így egyes növényvédő szerek, poliklórozott bifenilek és poliklór-dibenzo-dioxinok által okozott születési rendellenességekre összpontosít, s az ez irányú vizsgálatokat vonatkoztatja az emberi szervezetre is, hangsúlyozva, hogy a táplálkozási láncban keresztül az ember (elsősorban is a csecsemők) az állatállományhoz képest akár tíz-hússzoros expozíciónak lehet kitéve. Bár e hatás így is a 4–12 ppt (part per trillion), vagyis igen alacsony koncentrációtartományba esik, a hatást fokozhatja a bioakkumuláció, illetve biomagnifikáció jelensége, vagyis a kérdéses vegyületek felhalmozódása egyes szervezetekben: az egyszer bekerült perzisztens anyagok hosszú időtartamokra ezen szervezetek szöveteiben (elsősorban zsírszöveteiben) raktározódhatnak, mielőtt lebomlanának. A hormonális hatások erőssége nagymértékben függ az (emberi vagy állati) alany fajától, életkorától és nemétől, s e tekintetben az embriók, illetve a csecsemők fokozott károsodást szenvedhetnek. A korai életszakaszokban kifejtett hormonális hatások pedig visszafordíthatatlan következményekkel járhatnak.

A kimutatások szerint a legjelentősebb expozíció a szennyezett halfélék fogyasztásából adódik. S ne felejtsük el, hogy mindez az anya esetében a terhességet megelőző teljes életében a szervezetébe jutott szennyezőkre vonatkozik. Az ösztrogén agonisták, illetve androgén antagonisták hatásának emellett természetesen az apák (illetve hím állategyedek) is ki vannak téve.

A környezetszennyező vegyületek endokrin zavaró hatásait öt csoportra osztják:

- Bizonyos környezetszennyező vegyületek kellőképpen hasonlóak egyes hormonokhoz, ahhoz, hogy kölcsönhatásba lépjenek a természetes hormonok sejtszintű receptoraival.
- Más vegyületek gátló hatást fejtenek ki ugyanezen sejtreceptorokon.
- Egyes vegyületek számfeletti, abnormális hormonreceptorok kialakulását indukálják a sejtekben.
- Bizonyos szennyezőanyagok közvetlen vagy közvetett (nem receptorszintű) úton befolyásolják a természetes hormonok hatásait.
- Megint más anyagok megzavarhatják a természetes hormon-bioszintézist, így abnormális hormonegyensúlyt kiváltva.

Emellett nem elhanyagolható a környezetszennyező vegyületek által az enzimgegensúlyra (elsősorban a többfunkciós oxidáz enzimekre) kifejtett hatás sem, mely a hormonok természetes lebontásában játszik szerepet.

Meg kell jegyezni, hogy hasonló hímsterilitási, illetve reprodukciós rendellenességeket nem csupán bizonyos növényvédő szerek és ipari környezetszennyezők okoznak, de bizonyos gombás eredetű toxinokról (mikotoxinokról) is kimutattak, amely hatás nem elsősorban humán toxikológiai zavarokat vet fel, de jelentős problémákat okoz az állattartásban és -tenyésztésben. S a kérdést tovább súlyosbítja, hogy egyes szexuális hormonhatásokat rákkeltő hatásokkal (nem meglepő módon az emlőrákkal), immun-rendellenességekkel, illetve a belső elválasztású (főként a tiroid hormonokat termelő) mirigyek működésével is összefüggésbe hoztak.

Erősen vélelmezhető, hogy az endokrin zavaró vegyületekkel kapcsolatos aggályok is túlzóak – ám nem hagyhatók figyelmen kívül. Ames és Gold korábban említett tanulmányában [10] szintén úgy vélekedik, hogy feltehetőleg az endokrin zavaró vegyületek válnak az ezredforduló legjelentősebb környezeti problémájává, s véleményük szerint a helyzetet tovább súlyosbítja, hogy e hormonális tényezők a rákbetegség kialakulásában is jelentős szerepet kaphatnak. Ugyanakkor – a rákkeltő hatások kockázatbecslésével kapcsolatos érvelésükhöz hasonlóan – rámutatnak, hogy normál étrendünkben nagyszámú olyan természetes vegyületet fogyasztunk, amelyeknek ösztrogénhatása többmilliószorosa az EED növényvédő szerekének. Bár a fent említett hatások zöme a legtöbb, az EED vegyületek adatbázisában szereplő kémiai anyagok esetében csupán „feltételezett” hatásként szerepel, a jövőben várhatólag súlyt kap majd a növényvédő szerek toxikológiai és közvéleményszintű megítélésében s akár az engedélyezési eljárásokban is.

Epilógus

Amint láthattuk tehát, a növényvédő szerek környezeti kockázatainak megítélése újabb s újabb mellékhatások felbukkanásának, az ezzel kapcsolatos fokozott aggodalmaknak, majd szabályozási módosításoknak folyamatos története. Fejlődés ez, vagy egyre fokozódó pusztítás? A kérdés nehezen ítéltető meg elfogultság nélkül. A kutatás igyekszik lépést tartani a feltárt ökotoxikológiai problémákkal, azonban nem képes megelőzni azokat, és egyetlen növényvédő szer sem született, melynek káros mellékhatásaira számított volna a tudomány, s az eredeti alkalmazás környezeti és emberi kockázatainak mérlegelésekor e mellékhatásokat eleve tekintetbe vehette volna. A hatóanyag-fejlesztés tehát defenzív: nem képes arra, hogy előre meglássa a toxikológiai problémákat, de válaszol rájuk, ha azok fellépnek.

Mi hát a válasz a Rousseau-tól kölcsönzött, aktualizált kérdésre? Ökotoxikológiai értelemben romlik-e vagy javul a növényvédő szerek alkalmazása folytán kialakuló helyzet? Egyrészt egyértelműen javul, hiszen kétségszövegbevonhatatlan tény, hogy a mind újabb növényvédőszer-hatóanyagok mind környezetkímélőbb hatá-

súak: a fejlesztés rostáján egyre kevesebb hatóanyagjelölt marad fent, hiszen egyre fokozódó elvárásoknak kell eleget tenniük. Ijesztő azonban arra gondolni, hogy az újonnan feltárt toxikológiai problémák egyre összetettebbek, egyre mélyebb gyökérűek, s így a potenciális környezet-, illetve egészségkárosítások nyomán – ha fellépnek – egyre nehezebben állítható vissza a „háborítatlan” állapot.

Személyes véleményemben mindazonáltal egyértelműen az igenlő válasz felé hajlok: igen, a tudomány eredményei javítják a környezettel fenntartott viszonyunkat. A legfőbb érv emellett az, hogy a tudomány e kérdéskörben nem a probléma forrása, hanem eszköz a megoldáshoz. A növényvédő szereket nem alapvetően tudományos, hanem gazdasági cézzal alkalmazzuk, s így gazdasági tényezők alapján mérlegeljük alkalmazásuk hasznos vagy haszontalan voltát is. A tudományos fejlesztés eredménye, hogy a növényvédő szerek (így kedvező hatásaik is) létrejöhetnek, s a tudomány feladata az is, hogy a káros hatásokat elfogulatlanul feltárja. Ezek ismeretében pedig a gazdaság, illetve a közigazgatás feladata, hogy a károsnak bizonyuló anyagokat – szigorú következetességgel s az elmaradt haszon miatt el nem bizonytalanodva – forgalmukban korlátozza, vagy szükség esetén betiltsa.

A helyzet teret ad a polarizálódásnak és annak, hogy az érzelmek belopódzanak a tudományos megítélésbe is. Márpedig a tudományos megismerés legnagyobb ereje éppen önnön objektivitása, elfogulatlansága kell hogy legyen. Ennek fenntartása mindannyiunk fokozott felelőssége, hogy munkánk szerepét ne rousseau-i borúlátással ítélje meg a társadalom.

„Mennyi veszély, mennyi tévút keresztezi a tudományos vizsgálódást! Mennyi tévedésen kell átvágni magunkat, míg az igazsághoz eljutunk! És mind ezerszer veszedelmesebb, mint amennyire hasznos az igazság.” [14]

Köszönetnyilvánítás

A szerző megköszöni Prof. Darvas Béla értékes és inspiráló megjegyzéseit a kézirat kapcsolában.

Irodalom

- [1] Carson, R.: *The Silent Spring*. Houghton Mifflin Co, Boston, 1962.
- [2] Borlaug, N. E.: *Mankind and Civilization at Another Crossroad*. FAO, 1971. hiv [5]
- [3] Repetto, R.: Accounting for environmental assets. *Sci. Amer.*, 94–101., (1992) 266.
- [4] Repetto, R.: *Paying the Price: Pesticide Subsidies in Developing Countries*. World Resources Institute, Washington D. C., 1985.
- [5] Francis, C. A., Flora, C. B. and King, L. D.: *Sustainable Agriculture in Temperature Zones*. J. Wiley and Sons, Inc, New York, 1990.
- [6] van der Bosch, R.: *The Pesticide Conspiracy*. Doubleday Co, New York, 1978.
- [7] *US National Academy of Sciences, Insect-pest Management and Control. Principles of Plant and Animal Pest Control*. National Academy of Sciences, Washington D. C., 1969.
- [8] Mott, L. and Snyder, K.: *Pesticide Alert*. Natural Resources Defense Council, San Francisco, 1987.

- [9] Efron, E.: *The Apocalypitics: How Environmental Politics Controls What We Know About Cancer*. Simon & Schuster, 1984.
- [10] Ames, B. and Gold, L. S.: *Pollution, Pesticides and Cancer: Misconceptions*. US Senate, 1997.
- [11] Repetto, R. and Baliga, S.: *Pesticides and the Immune System*. World Resources Institute, Washington D. C., 1996.
- [12] Colborn, T., Dumanoski, D. and Peterson Myers, J.: *Our Stolen Future*. Dutton, New York, 1996.
- [13] Keith, L. H.: *Environmental Endocrine Disruptors*. Wiley, New York, 1997.
- [14] Rousseau, J. J.: *Javított-e az erkölcsökön a tudományok és a művészetek újraéledése? Értekezések és filozófiai levelek*, 24. o. Ford.: Kiss János, Magyar Helikon, 1978.

Műtéti kockázatok

Az emberi élet kockázatai közül talán legkevésbé kívánt és mégis gyakran előforduló a kockázatnak az a formája, amikor egy betegség, kóros állapot megoldása céljából műtetre kerül sor. Ilyenkor az emberi szervezetet lehetőleg optimális körülmények között, többnyire tervezetten, szakember által végrehajtva olyan külerőszaki behatás éri, amelynek végzésével a kockázatot elszenvedő maga is egyetért.

Jogi megfogalmazásban a kockázat „*valamely tevékenységgel szükségszerűen együtt járó eredménytelenség, károsodás vagy veszély bekövetkeztének lehetősége*” (10).

Az orvosi tevékenységben szinte minden beavatkozásnak van kisebb-nagyobb kockázata. Sajnos – a dolgok természetéből adódóan – ezt a kockázatot mindig a betegnek kell vállalnia. Az sem tagadható, hogy bármely, a tudomány állásának megfelelő szabályszerűséggel végrehajtott beavatkozás eredmény nélkül maradhat, vagy éppen károsodást, veszélyt, legsúlyosabb esetben halált okozhat. *Sótonyi* (10) szerint a műtéti kockázat körébe tartozik minden olyan egészségkárosodás vagy halál,

- a) amely a tevékenységnek nem szükségszerű velejárója,
- b) amelynek bekövetkezése éppen ezért előre nem látható,
- c) így eleve nem hárítható el,
- d) amely az orvosi foglalkozás szabályainak mindenben megfelelő tevékenység mellett következett be.

A kockázattól megkülönbözteti a jog a *gondatlanságot* (Btk.14.), amelynek két formája van. A *luxuria*, amikor valaki előre látja magatartásának káros következményét, de könnyelműen bízik annak elmaradásában, illetve a *negligentia*, amikor valaki a káros következmények lehetőségét azért nem látja előre, mert a tőle elvárható figyelmet vagy körültekintést elmulasztja.

Az orvosi beavatkozásokhoz – így a műtéthez is – minden esetben szükség van a beteg vagy hozzátartozója hozzájárulására. A műtétnél az egyéni felelősség érvényesül. Az Egészségügyi Törvény 44. §-a 1. bekezdésének b) pontja kimondja: „az orvos nem alkalmazhat olyan vizsgálati vagy gyógyító eljárást, amelynek

kockázata nagyobb az elhárítás elmaradásával járó kockázatnál". („Operatio non sit gravior ipso morbo.") Sajnos a gyógyító orvostudomány nagyon sok területére érvényes az a régi latin mondás: „Nil prodest quod non possit laedere idem" („Semmi sincs, ami használna, s ugyanakkor ne ártana").

A műtéttel kapcsolatos kockázati tényezőket didaktikailag 3 csoportra oszthatjuk:

1. a beteggel (szervezetével, betegségével) kapcsolatos,
2. a beavatkozásból adódó,
3. a műtétet végzők személyével összefüggő tényezőkre.

Ad 1. A műtéti kockázat tekintetében alapvető fontosságú a beteg jelen állapota (status praesens). E tekintetben hosszú ideig döntő volt a beteg kora. Ma már csupán orvostörténeti érdekességű *Clairmont* 1936-ban tett megállapítása, aki az operálhatóság felső határát *50 éves korban* adta meg (11)! Napjainkban a fejlett egészségüggyel rendelkező országok általános sebészeti beteganyagának több mint 25%-a (!) 70 év feletti. Érdekes *Keszler és munkatársai* (4) adata, amely szerint 1962-ben Magyarországon throacotomián átesett betegeknek csupán 10%-a (!) volt 60 év feletti, 7 év múlva, 1969-ben pedig már 24%-a (!). Hangsúlyozandónak tartjuk, hogy a sebész „nem az anyakönyvet operálja", így a beteg kora nem elsődleges, döntő fontosságú a műtét elvégezhetősége szempontjából. A mindennapok gyakorlatában sajnos nem ritka az olyan 40–50 éves beteg, akinek szervezete számos tényező (előrehaladott betegség, önpusztító szenvedély, nyomorúságos körülmények, szerencsétlen életvitel) miatt „elhasználtabb", mint sok 70 év feletti egyéné. A *nagyfokú, kóros elhízás* nemcsak a sebész számára jelenthet technikai nehézséget, hanem a beteg részére is fokozott kockázatot a posztoperatív időszakban. A *rossz tápláltsági állapotot* is kockázati tényezőnek kell tekintenünk, elsősorban a rosszabb sebgyógyulás, kisebb műtéti teherbíró képesség szempontjából. Ennek hátterében gyakran súlyos alapbetegség, hypoproteinaemia, a szervezet védekezőképességének csökkenése áll, amely a műtét előtti időszakban nem mindig javítható vagy korrigálható teljesen. A beteggel összefüggő kockázati tényezőnek tekintjük előzetesen lezajlott vagy aktuálisan is manifeszt *társbetegségeket*.

Közülük elsősorban a *rosszindulatú daganatok* állnak a figyelem előterében. A normális életfunkciókhoz elengedhetetlen *vese- és májműködés súlyos zavarai* (veseelégtelenség, májsugorodás stb.) többnyire lehetetlenné teszik a sebészi beavatkozás végzését. A *keringési rendszer* előzetesen lezajlott *betegségei* a múltban nagyon gyakran jelentettek műtéti ellenjavallatot („gyenge a szíve", „nem bírja a műtétet"). Valóban, a manifeszt vagy akutan jelentkező súlyos keringési zavar ma is így értékelendő. Az előzetesen lezajlott szívinfarktus napjainkban azonban más elbírálás alá eshet. Kiterjedése, lokalizációja, a szív koszorúereinek aktuális állapota ma is nagy gondosságot, körültekintő felmérést igényel. Gondoljunk azonban arra a tényre, hogy napjaink elfogadott műtéti beavatkozása a szívatültetés, amikor is az operált beteg szívének állapota olyan rossz, hogy önmagában ez indokolja a műtétet, s arra sok esetben sikerrel kerül sor. Természetesen ma is jelentős kockázati tényezőt jelentenek a fennálló *magas vérnyomás betegség, cukor-*

betegség, véralvadási zavarok és sok más, a szervezetet egészében érintő kórkép. Ezek preoperatív tisztázása, lehetőség szerinti korrekciója, a műtét kivitelezésében történő figyelembevétel és a posztoperatív szakban való ellenőrzése, egyensúlyban tartása alapvető feladata a sebészi ténykedésnek. Ebből a szempontból felmérhetetlen segítséget jelent a mai modern aneszteziológia és intenzív terápia. Ezek nélkül sok műteti beavatkozás nem volna elvégezhető, illetve az operált beteg gyógyulása nem volna lehetséges!

A műteti kockázat szempontjából nem hagyhatók figyelmen kívül azok az előző vagy egyidejű kezelések, amelyeken a beteg átesett. Ilyen szempontból nagy jelentősége van az előzetes *immunoszuppresszió*nak, a *szteroid kezelésnek*, a *sugárkezelésnek*, *antikoaguláns terápia*nak.

A beteggel kapcsolatos kockázati tényezők objektív felmérésére, a rizikócsoportok meghatározására számos kísérlet, vizsgálat sorozat történt. Közülük az első az American Society of Anaesthesiology (ASA) által 1941-ben közzétett csoportosítás (9). Ez az alábbi 5 rizikócsoportot különbözteti meg:

1. egészséges,
2. enyhe szervrendszeri elváltozás,
3. súlyos szervrendszeri elváltozás,
4. dekompenzált súlyos szervi zavar(ok),
5. közvetlenül halállal fenyegető állapot.

Az elmúlt évtizedek során több skála- és pontértékelés alapján állítottak fel betegségfelmérő, státusrögzítő, terápiás, patofiziológiás mérőrendszereket (5, 6, 7). Közülük az ismertebbek az APACHE I-II-III (Acute Physiology and Chronic Health Evaluation), a NYHA (New York Health Association), az ISS (Injury Severity Score), a TISS (Therapeutic Intervention Scoring System), a TOSS (Time Oriented Score System), a SAPS I-II (Simplified Acute Physiology Score), a Child-beosztás, a glasgow-i coma scoring stb. Mindezek sok hasznos információt jelenthetnek a műteti kockázat felmérésében és a kezelés módszereinek kialakításában. Magunk mégis teljes mértékben egyetértünk Keszler és Bélai (3) megállapításával: „A kockázat megítélésében az orvosi intuíciót és tapasztalást nem lehet és nem szabad számadatok korlátai közé szorítani!”

Ad 2. A beavatkozásból adódó kockázati tényezők összefügghetnek a *környezet körülményeivel*. Sajnos a műteti beavatkozásra nem mindig kerülhet sor optimális körülmények között (1, 2). Nemritkán a beavatkozás életmentő, azonnal elvégzendő, az optimális körülmények biztosítására nincs idő vagy lehetőség. Nem kell külön magyarázni a *háborús körülmények* között végzett műtétek kockázatának fokozott voltát. *Balesetből* adódó műteti javallat gyakran sürgető, a sérülés jellege olyan lehet, hogy az élet megmentése az első feladat, s kell, hogy a fokozott kockázatot vállaljuk. A *rossz műtői körülmények*, a *magas páratartalom*, a *légkondicionálás hiánya* mind fokozott kockázati tényezőként jelentkeznek, s nem csupán a műtői team kényelmi szempontjait rontják. Sajnos a világ számos országában ezek az alapvető követelmények nincsenek maradéktalanul biztosítva (1, 2). E tekintetben hazánkban is vannak még napjainkban jelentős különbségek.

A műtési körülményekkel kapcsolatos kockázati tényezők közé kell sorolnunk a műtési érzéstelenítéssel, aneszteziával, a műtési vérpótlással, előkészítéssel, a műtési behatolás megválasztásával összefüggő körülményeket, lehetőségeket. Ezek részben már átvezetnek az altatást és a műtétet végzőkkel (aneszteziológus, sebész, asszisztencia) összefüggő kockázati tényező-csoportba.

Az orvosi tevékenység (nem csak műtési) kockázatának összetevőit Sótornyai 1996-ban megjelent könyvében (10) az alábbiakban körvonalazza:

- a) a betegség, sérülés súlyossága
- b) az anatómiai viszonyok rendellenessége
- c) egyedi reakciók
- d) objektív tényezők (helyi adottságok, műszerezettség, személyi, tárgyi feltételek)
- e) szubjektív tényezők (tapasztalat, lelkiállapot stb.)
- f) a beavatkozás természete (előkészítés, kivizsgálás lehetősége)
- g) a beavatkozás rutin- vagy újszerű volta
- h) diagnosztikus tévedések, hiányosságok
- i) kiegészítő vizsgálatok
- j) eszköz-, berendezés-meghibásodás, hiba
- k) meteorológiai tényezők.

Az aneszteziával összefüggésben alapvetően fontos, hogy annak módját (helyi, általános) helyesen válasszuk meg, általános érzéstelenítés során az intubáció és lélegeztetés módja, az aspiráció megelőzése, a beteg fektetése stb.

A beteg számára az operáló teammel összefüggésben lévő kockázati tényezőt jelenthet a *nem megfelelő műtési előkészítés és sterilitás*. Tervezett műtét esetén (nem akut beavatkozás) a megfelelő műtési előkészítésre többnyire van idő és lehetőség. Akut, életveszélyt elhárító beavatkozás végzésekor ez sajnos nem mindig optimálisan biztosított. A sterilitás kérdése minden műtési ténykedés alaptétele! A beavatkozáshoz használt eszközök, anyagok sterilítása biztosított kell hogy legyen! Sterilitási hiba megbocsáthatatlan, s minden műtési ténykedésnek alapját képezi a tökéletes sterilitás. E területen – feltételezve a megfelelő körülményeket – kompromisszum nem tehető! Sajnos nemritkán a beavatkozás jellege, a műtési terület fertőzött volta zárja ki ezen alapkövetelményt.

Ad 3. Alig vitatható kockázati tényezőt jelent maga a *sebész, illetve a műtétet végző team is*. Így van ez akkor is, ha az oki összefüggés a kockázat és a szövődmény létrejötte között nem mindig vagy nem egyértelműen mutatható ki. Tagadhatatlan szerepe lehet a sebész technikai felkészültségének, szövetkímélő technikájának, a műszer és a varróanyag helyes megválasztásának. A szakirodalomból ismert tény, hogy a tapasztalatlan sebész által végzett műtétek fertőzési szövődményeinek aránya mintegy négyszerese a tapasztalténak. Az antibiotikumok felfedezése a műtési fertőzések legyőzésében szinte beláthatatlan segítséget jelentett. Egyesek ennek birtokában olykor megfeledkeznek a minuciózus, szövetkímélő műtési technikáról. Teljes mértékben osztanunk kell Wangenstein véleményét: „Meglehet, hogy az antibiotikumok a harmadosztályú sebészből másodosztályút képesek formálni, de sohasem tudnak másodosztályúból elsőosztályút kialakítani” (12).

A kockázat szempontjából a műtét időtartamának jelentősége a laikus társadalomban napjainkban fetisizált, eltúlzott. „Tessék mondani, mennyi ideig tart a műtét?” – kérdezi gyakran az operálandó beteg vagy hozzátartozója, ennek alapján mérve le a várható műtégi megterhelést, kockázatot. A mai aneszteziológia lehetőségeinek figyelembevételével direkt összefüggést feltételezni a műtét időtartama és terhe között helytelen és értelmetlen. Rövidebb ideig tartó, testüreget megnyitó, kiterjedt szöveteltávolítást szükségessé tévő vagy életfontos szerv funkcióját jelentősen befolyásoló műtét a beteg számára sokkal nagyobb megterhelést jelent, mint egy több óráig tartó, felszínen lezajló beavatkozás. Természetesen ugyanolyan típusú műtét végzésekor előnyösebb, ha az gyorsabban történik meg. E szempontból a sebész manualitásának, tapasztalatának, a műtét optimális körülményeinek szerepe alig vitatható. A beteg sorsa szempontjából kevésbé fontos, hogy a műtétet az operatőr mennyi idő alatt végzi el, sokkal inkább az, hogy azt operálja-e meg, amit kell, s úgy, ahogyan kell! Ezek a szempontok a beteg további sorsa szempontjából fontosabbak, mint az órával „versenyt futó”, a műtétet mechanikus, iparosmunkává degradáló „szikezsonglőr” ténykedése. Természetesen nem elég a műtétről elméleti fejtegetéseket ex katedra közölni, azt optimálisan el is kell végezni! Szilárd meggyőződése az, hogy az agy és a kéz nem antagonista szervek! A sebész – és főleg betege – számára a jó elméleti felkészültség és a kiváló dexteritás egyaránt fontosak!

Nehezen lemérhető, a környezet számára is gyakran rejtett marad, mégis rendkívül fontos a sebész fizikai és szellemi felkészültsége, állapota (fáradtság, kialvatlanság, túlterheltség, alkohol fogyasztása, gyógyszer rendszeres szedése, betegségek stb.). Ezek negatív hatása gyakran csak akkor válik ismertté, amikor már valami látványos probléma (műhiba) történt. Sokszor maga az illető sem tulajdonít ezeknek kellő jelentőséget, vagy egyáltalán nem realizálja ezek súlyát. Ilyen esetben a környezetnek kötelessége – elsősorban a beteg, de a sebész érdekében is –, hogy ezen körülmény súlyára felhívja a figyelmet, s így az ebből adódó – olykor nagyon súlyos – problémák elkerülhetők legyenek.

Lehet, hogy az olvasó szokatlannak tartja, hogy erről is szó került, de a műteti kockázat nemcsak a beteget érinti (bár elsősorban tagadhatatlanul őt), hanem a műtétet végző orvosokat is. Tágabb értelemben ez is a műteti kockázat kategóriájába tartozik. Nem csupán a műtét alatti fizikai megterhelés, fertőződés lehetősége, hanem a műtéttel összefüggésben fellépő szövődeményekkel kapcsolatos – olykor alig elviselhető – lelkiismereti teher, önvád, stressz ismeretes azok számára, akik ezt a ténykedést gyakorolják. *Nováknak* (8) a műteti kockázatról 1941-ben írt könyvében olvashatók az alábbiak: „A sebészi pálya napfényes oldalán megmentett betegek, családjukhoz visszatérők ezrei állnak, de mellettük az árnyék korán befejezett életet, árvákat és özvegyeket, gyámolítás nélkül maradt aggokat takar.” Joggal állapítja meg *Szolzenyicin* Rák-kórház című munkájában: „Mi, sebészek kockázatot vállalunk, a kockázaton járunk.” Teljes mértékben osztoom a nagy tapasztalatú sebész-aneszteziológus *Széll Kálmán* megállapítását: „A sebészeten tulajdonképpen minden a kockázat körül forog” (12).

A műtéti kockázattal kapcsolatos fenti gondolatok összefoglalása után joggal tehetjük fel a kérdést Keszlerrel és Bélaival (3): „Ha mindezen feltételnek optimálisan eleget teszünk, biztosított-e a siker? A válasz: nem.” Sajnos egyet kell velük érteni. Mégis legfőbb feladatunknak kell tekintenünk, hogy optimális elméleti és gyakorlati felkészültséggel, lelkiismerettel és gondossággal, a tudomány és a klinikai társszakmák művelőinek segítségével és összefogásával a gondjainkra bízott betegek számára a műtéti kockázatot a minimumra csökkentsük. „A vaincre sans péril, on triomphe sans gloire” (a küzdelem veszély nélkül, győzelem dicsőség nélkül) – írja *Pierre Corneille* Le Cid című művében. Bizonyára így van ez az élet sok területén. Nekünk, sebészeknek mégis azt kell célul kitűznünk, hogy sikeres műteteinket betegeink gyógyítására minél kisebb kockázattal végezzük.

Irodalom

1. Bonn, D.: UK perioperative deaths: better facilities needed. *Lancet*, 348, (1996) 1505
2. Geroulanos, S. and Hell, K.: *Risk factors in surgery*. Editiones Roches, Basel, Switzerland, 1994.
3. Keszler P., Béla F.: Műtéti kockázat a mellkassebészetben. *Pneumol. Hung.*, 32, (1979) 245.
4. Keszler P., Mészáros Zs., Ábrahám L.: Emphysema és életkor a mellkassebészetben. *Tuberkulózis és Tüdőbetegs.*, 24, (1971) 196.
5. Kéri Gy., Tekeres M., Simor T. et al.: Osztályozási módszerek betegségek súlyossági fokának megítélésére (APACHE II). *Anaesth. Int. Ther.*, 17, (1987), 189.
6. Kiss B. és Jobbágy L.: Az intenzív betegellátásban általánosan használható betegség-súlyossági és prognosztikai rendszerek. *Anaesth. Int. Ther.*, 27, (1997) 27.
7. Knaus, W. A., Draper E. A., Wagner, D. P., Zimmerman, H. E.: APACHE II. A severity of disease classification system. *Crit. Care med.*, 13, (1985) 818.
8. Novák E.: *Műtéti kockázat*. Budapest, 1941. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda.
9. Sakland M.: Grading of patients for surgical procedures. *Anaesthesiology*, 2, (1941) 281.
10. Sótónyi P.: *Igazságügyi orvostan*. Semmelweis Kiadó, Budapest, 1996
11. Széll K.: A műtéti biztonság növelésének lehetőségei az ezredforduló időszakában. *Orv. Hetil.*, 129, (1988) 1903.
12. Széll K.: Személyes közlés.

A gyógyszerfogyasztás kockázatai

Gyógyszereket betegségek kezelésére, megelőzésére használunk, tehát egyértelműen a jobbítás szándékával. Van-e a gyógyszereszedésnek, -fogyasztásnak valamiféle kockázata? Természetesen van. Mindenki, aki gyógyszert fogyaszt – legyen az relatíve ártalmatlan gyógyszer –, kockázatot vállal. A kockázat különböző mértékű lehet. A kockázat megítélése, ami elsősorban a gyógyszert rendelő orvos feladata, nem egyszerű dolog. Hiszen itt nemcsak az a kérdés, hogy az adott gyógyszer milyen mértékű, milyen súlyosságú károsodást okozhat, és milyen gyakorisággal, hanem az is, hogy milyen betegség gyógykezelésére kívánjuk a szert alkalmazni. Ha a gyógyszer hatásossága bizonyított, azaz bízunk a gyógyszerben, akkor súlyos betegség esetén könnyebben vállaljuk azt a kockázatot, hogy a gyógyszer a kívánatos terápiás hatásán túl, egyidejűleg, esetleg nemkívánatos mellékhatást is okozhat.

Miből adódik a gyógyszerfogyasztás kockázata? Elsősorban a gyógyszer okozta nemkívánatos hatásból vagy mellékhatásból. Ritkábban minőségi hiba is okozhatja. Ez utóbbi megakadályozására számos technikai és adminisztratív intézkedés történt, illetve történik. A gyógyszerminőség ellenőrzése több lépcsőjű, felelősséget vállal érte a gyógyszer előállítója, forgalmazója és a gyógyszert törzskönyvező nemzeti hatóság is.

Jelentős kockázati tényező a túlfogyasztás, ami abúzust vagy számos gyógyszer egyidejű szedését, vagyis polipragmáziát jelent. Kockázatot a várt hatás elmaradása (például hibásan megválasztott gyógyszer alkalmazása esetén) és általában a gyógyszer helytelen használata.

Mindazoknak, akik gyógyszerrel foglalkoznak vagy gyógyszert szednek, legyenek az előállító szakemberei, a gyógyszer-törzskönyvező, -ellenőrző, -értékelő hatóság tagjai, a gyógyszert rendelő és hatását ellenőrző orvosok vagy a leginkább érintettek, a betegek, törekedniük kell arra, hogy a kockázatvállalás minél kisebb legyen.

Jelen dolgozatomban elsősorban a gyógyszer-törzskönyvező hatóság munkáján keresztül szeretném bemutatni, hogy miképpen csökkenthetjük a gyógyszer-

fogyasztás kockázatát, milyen eszközök állnak rendelkezésünkre a gyógyszer okozta mellékhatások felismerésében. Minden törzskönyvező hatáságnak három alapvető feladata van:

Biztosítania kell:

- a gyógyszerek minőségét,
 - hatásosságát és
 - relatív ártalmatlanságát,
- azaz biztonságos alkalmazhatóságát.

Tulajdonképpen ezt a munkát nevezzük a gyógyszer törzskönyvezésének. Ennek megfelelően a törzskönyvezés nem azt jelenti csupán, hogy a gyógyszer legfontosabb adatait egy könyvbe bevezetik – ez már csak a legutolsó lépés –, hanem a gyógyszer adataira vonatkozó részletes dokumentáció sok szempontból történő értékelését is. Ez rendkívül bonyolult, felelősségteljes munka.

A gyógyszer-törzskönyvezés tulajdonképpen a gyógyszer előállítója és a gyógyszer-törzskönyvező hatáság közötti szerződés. Ebben a szerződésben az előállító felelősséget vállal azért, hogy a gyógyszerkészítményre vonatkozó valamennyi adatát (legyenek azok kedvező vagy kedvezőtlen adatok) a hatáság rendelkezésére bocsátja. Felelősséget vállal továbbá azért, hogy a gyógyszert folyamatosan, abban a minőségben állítja elő és hozza forgalomba, amilyen minőségben azt a hatásághoz értékelésre benyújtotta. A hatáság felelősséget vállal azért, hogy a benyújtott dokumentációt értékeli, rámutat annak hiányosságaira, a szükséges kiegészítő adatokat pótlólag megkéri, majd az értékelő munka befejezése után, pozitív esetben, a vizsgálati készítményt gyógyszerre nyilvánítja. A törzskönyvezés folyamata ezzel nem zárult le, hiszen az utánkövetés is a hatáság további feladata marad mindaddig a pillanatig, amíg a gyógyszert az előállító saját elhatározásából vagy a hatáság határozata alapján a forgalomból vissza nem vonja.

Milyen fázisai vannak a gyógyszer okozta mellékhatások megismerésének?

Az I. fázis az ún. preklinikai fázis, vagyis a gyógyszer embereken történő kipróbálása előtti periódus. Ezek állatkísérletes, *in vivo*, esetleg sejtenyészetben, sejtpreparátumban történő *in vitro* vizsgálatok, melyek segítségével a vizsgálati szer fő vagy egyéb farmakológiai hatásait ismerjük meg, továbbá különböző típusú toxikológiai vizsgálatok. Ez utóbbiak nagyon sok nemkívánatos hatást fedhetnek fel, de nem szabad elfeledkezni arról, hogy számos olyan mellékhatást ismerünk, ami fajspecifikus, és csak bizonyos állatfajokon vagy csak emberen észlelhető.

A preklinikai vizsgálatok után kezdődik el a szer embereken történő vizsgálata. E bonyolult vizsgálati rendszer első fázisa egészséges önkénteseken végzett tűrhetőségi és kinetikai vizsgálatot jelent. Ekkor történik annak megállapítása, hogy mi az a legkisebb dózis, amit egy egészséges önkéntes még jól elvisel, és annak a legmagasabb dózisanak a megállapítása is, mely a dózis további eszkalációját már nem teszi lehetővé.

Ezt követően indul a szer II. fázisú vizsgálata, amelyet már betegeken végeznek. Célja a hatásos dózistartomány megállapítása mellett a gyógyszer okozta legfontosabb mellékhatások felismerése.

Milyen alapvető típusai vannak a gyógyszer okozta mellékhatásoknak? Az I. típusú mellékhatás dóziszfüggő, viszonylag könnyen felismerhető, gyakran csak az arra érzékeny betegeken jelentkezik, nemritkán a szer fő vagy egyéb farmakológiai hatásának következtében. Ezekre a hatásokra már az állatkísérletes vizsgálatok alapján is következtethetünk. Itt jegyzem meg, hogy egy szer hatásmechanizmusának ismerete nem csupán a szer fejlesztése, indikációjának megjelölése szempontjából fontos, hanem a várható mellékhatások megítélése szempontjából is. Ugyancsak I. típusúnak tartható az a mellékhatás, ami nem a gyógyszer farmakológiai hatásából adódik, de mégis dóziszfüggő, a szer kémiai struktúrájával kapcsolatos, és általában az ún. parenchimás szerveket érinti. Még ezek a toxikus hatások is relatíve nagy valószínűséggel megjósolhatók az elvégzett állatkísérletes toxikológiai vizsgálatok eredményéből.

Az ún. II. típusú reakciók (más szóval idioszinkráziás reakciók) gyakran immunmediáltak, máskor mögöttük enzimopátia bújhat meg, és általában nehezen modellezhetők, így váratlanul érhetik a vizsgálókat. Ezek felismerése nem könnyű feladat, különösen ha ritkán jelentkeznek. Sokszor csak a gyógyszer törzskönyvezése és forgalomba hozatala után kapja a gyógyszert olyan számú beteg, akiknél ez a mellékhatás már megfigyelhetővé válik.

Ezért van szükség arra, hogy a klinikai vizsgálatok lezárása, a gyógyszer törzskönyvezése, illetőleg forgalomba hozatala után is törődjünk a gyógyszer sorsával, azaz működtessünk olyan rendszereket, melyek segítségével a gyógyszer teljes mellékhatás-spektruma megismerhetővé válik. Ritkán fordul elő ugyanis, hogy egy gyógyszert – még gyakrabban előforduló betegség esetében is – a törzskönyvezésig több mint 5000 ember kapja. A törzskönyvezés után azonban rövid időn belül több tízezer betegen ismerhetjük meg a gyógyszer hatásait, mellékhatásait, ezért a gyógyszer fogyasztásának *kockázata* fokozatosan jobban becsülhetővé válik, vagyis mérséklődik.

Mi a mellékhatások ára? Hazai felméréseink pontatlanok. Az Egyesült Államokban a kórházi felvételek 15%-a gyógyszer okozta mellékhatások miatt történik. A kórházban kezelték ápolási idejét a gyógyszerfogyasztás, mint oki tényező, átlagosan 2-3 nappal hosszabbítja meg, és ennek ára mintegy 2000 USD/beteg. Az Egyesült Államokban a kórházi mellékhatásokkal kapcsolatos költségek becsült összege évi 2,5 milliárd USD.

Magyarországon, mint említettem, a mellékhatások gyakoriságának megítélésére nincsenek pontos adataink. Ha feltételezzük, hogy a kórházi felvételek 15%-a hazánkban is mellékhatással függ össze, és a szükséges ápolási idő legalább 4 nap, úgy a teljes populációra számított éves költség több mint 10 milliárd Ft. Ha az alapellátásban jelentkező költségeket is figyelembe vesszük, a mellékhatások ára a fentieknél jóval magasabb.

Az Országos Gyógyszerészeti Intézet, mint minden nemzeti törzskönyvező hatóság, lényeges szerepet vállal abban, hogy a forgalomba kerülő gyógyszerek biztonságosan alkalmazhatók legyenek. Már az első klinikai vizsgálat engedélyezése előtt az intézet szakemberei részletesen tanulmányozzák a szer preklinikai vizsgálatainak eredményeit, így a toxikológiai, farmakológiai és más vizsgálatok

adatait. Csak alapos mérlegelés után engedélyezik az emberen történő vizsgálatok megkezdését. Az emberekén végzett vizsgálatoknak ma nagyon szigorúan szabályozott feltételei vannak. Egyik sokat emlegetett, ma már kötelezővé tett rendszer, az ún. jó klinikai gyakorlat, röviden a GCP rendszer.

Ez a rendszer biztosítani képes, hogy a vizsgálatokat az előírásoknak megfelelően, a vizsgálati tervet követve, kontrollálható módon végezzék, a vizsgálatban részt vevők önkéntessége, integritása, személyiségi jogai biztosítva legyenek. Az Országos Gyógyszerészeti Intézet különös gondot fordít arra, hogy a vizsgálati terv részletesen foglalkozzék a gyógyszer okozta mellékhatások felismerésével, jelentésének módjával, illetőleg az észleltelemzésével, azok dokumentálásával, jelentésével. A törzskönyvezést követő időszakban különböző módon gyűjt adatokat a most már gyakorlatban alkalmazott szer okozta mellékhatásokról.

Magyarországon az első gyógyszer okozta mellékhatás-bejelentés 1963-ban történt. 1985-ben alakult meg az OGYI-ban a mellékhatás-figyelő központ, mely kezdetben elsősorban az orvosok, gyógyszerészek, betegek spontán jelentésével, illetőleg az előállítók számára a gyógyszer okozta mellékhatások kötelezően előírt jelentésével foglalkozott. Az 1980-as évek óta a hazai centrum folyamatos együttműködést épített ki a WHO uppsalai elhelyezésű Mellékhatást Figyelő Központjával. Az 1980-es évek végén az OGYI Mellékhatást Monitorozó Központja a volt szocialista országok közül elsőként vált a WHO állandó tagjává.

A gyógyszer-mellékhatást figyelő központnak más forrásai is vannak. Az OGYI 1991-től tagja a PER-nek (Pharmaceutical Product Evaluation Report Scheme). Ez a szervezet, a Gyógyszert Törzskönyvező Hatóságok Nemzetközi Szervezete, arra is vállalkozik, hogy az egyes tagországokban jelentkező mellékhatásokat a tagoknak azonnal jelentse. A Gyógyszer Mellékhatást Monitorozó Központ nemcsak a mellékhatásokról kap azonnali információt, hanem az esetlegesen előforduló minőségi hibákról is. 1994-et követően folyamatos információcsere alakult ki az előállítókkal és a forgalmazókkal a hazánkban és külföldön tapasztalt mellékhatásokra vonatkozóan. Természetesen rendelkezésünkre áll az irodalom, elektronikus média stb. is.

A hazánkban bejelentett mellékhatások száma még mindig relatíve alacsony. Egymillió lakosra számítva nem több, mint évi 50–100, ugyanakkor a legfejlettebb országokban ez a szám 300–500 körül van. A gyógyszer-mellékhatások bejelentése azonban emelkedő tendenciát mutat. Más kérdés, hogy a gyógyszer-mellékhatások megismerésének lehetősége ma már lényegesen könnyebb, mint ami Magyarországon a 60-as, 70-es években volt. Ma már gyógyszereink többsége külföldön is forgalomban van, hatóanyaguk jól ismert, a világ számos országában különböző elkészítési formában gyakorta használják, és miután elzártságunk megszűnt, a WHO Központból, a PER-től, illetőleg más tagországoaktól kapott információ birtokában folyamatos képet nyerhetünk mellékhatásaikról. Ezen túlmenően információt kapunk maguktól az előállítóktól is, a szakirodalomból és a gyógyszer-törzskönyvező hatóságoktól, társintézetektől.

A beérkezett információk nem csupán archiválásra kerülnek, azokat a hatóság szakemberei elemzik, gyakran külső szakértők bevonásával igyekeznek az

ok-okozati összefüggést megállapítani, illetőleg ennek megtörténte után a szükséges konzekvenciákat levonni. Ez azt jelenti, hogy amennyiben a gyógyszer és az általa okozott mellékhatás oki összefüggését igazolva látjuk, erről értesítjük az előállítót, a WHO és a PER szervezeteket, itthon pedig megtesszük a szükséges lépéseket. Ez lehet a gyógyszer alkalmazási előírásának módosítása, körlevél a felhasználókhoz, súlyosabb esetben a gyógyszer forgalmazásának felfüggesztése.

Sokszor a magyar hatóság szemére vetik, hogy túl sok gyógyszert törzskönyvez, túl sok a forgalomban lévő gyógyszerek száma, ami szintén forrása lehet a gyógyszer okozta mellékhatásoknak, illetőleg kockázatnak. Magyarországon a törzskönyvezett készítmények száma 4399. Ez azonban csak 1170 hatóanyagot jelent. Meglepő, de igaz, hogy Európában Magyarországon a legalacsonyabb a törzskönyvezett gyógyszerek száma. Ezért szükségtelen arról vitatkozni, hogy a gyógyszerek száma Magyarországon sok. Az egészségügyi ellátást finanszírozó OEP szerint természetesen soknak tartható. Az előállítók és nemritkán az orvosok viszont általában kevésnek vélik. Mi úgy gondoljuk, hogy a legfontosabb, legkorszerűbb gyógyszerek Magyarországon rendelkezésre állnak ugyan, de megítélésünk szerint kb. 6-7000 gyógyszerre volna szükség ahhoz, hogy a gyógyszeres kezelés a legmagasabb szinten biztosítható legyen. A gyógyszerfogyasztás kockázata véleményünk szerint nem a törzskönyvezett gyógyszerek számának csökkentésével érhető el, hanem megfelelő, szakmailag megalapozott felvilágosító munkával, ami nemcsak az egészségügyben dolgozó orvosokra, gyógyszerészekre, középkéaderekre terjedjen ki, hanem a gyógyszert fogyasztó, tehát a kockázatot vállaló betegekre is.

Közlekedési kockázatok

A közlekedési kockázatok elsősorban a környezetkárosításban és a közlekedési balesetekben jelennek meg. A közlekedés balesetveszélyes üzem. A veszélyesség többféle módon jellemezhető; egyik módja az 1. táblázatban feltüntetett adatok alapján, a táblázat 4. oszlopa szerinti. A legveszélyesebb személygépkocsi-közlekedés veszélyessége a többi közlekedési módhoz viszonyítva a táblázat 5. oszlopában látható. A közlekedési kockázathoz kell sorolni a közlekedés okozta környezeti ártalmakat, a pályák építésétől, a járművek előállításától kezdve az üzemeltetésen keresztül a forgalom okozta károkig bezárólag.

A következőkben elsősorban a legveszélyesebb közlekedési mód – a közúti közlekedés – baleseti kockázataival, a megelőzés, a káros hatások csökkenésének lehetőségeivel fogok röviden foglalkozni.

1. táblázat

A közlekedési módok relatív veszélyessége (USA)

| Közlekedési mód | Utaskilométer (100 millióban) | Haláleset | 100 millió utaskilo- méterre eső halálos balesetek száma | A személygépkocsi- közlekedés veszélyessége a többi közlekedési módhoz viszonyítva |
|-------------------------|----------------------------------|-----------|--|---|
| személygépkocsi | 29 642 | 35 200 | 1,187 | – |
| vasút | 146 | 48 | 0,329 | 4-szeres |
| autóbusz | 1 094 | 130 | 0,129 | 9-szeres |
| repülőgép (belföldi) | 1 970 | 160 | 0,081 | 15-szörös |
| hajó | 64 | 5 | 0,078 | 15-szörös |

A jelenlegi hazai baleseti helyzet jellemzését a budapesti balesetekre vonatkozó adatokkal kezdem (2. táblázat). A táblázattal kapcsolatban megjegyzem, hogy

- a halálos balesetek közel 2/3-a gyalogoselütés,
- az időskorúak veszélyeztetettsége feltűnő.

2. táblázat

A budapesti balesetek helyzetjellemzése

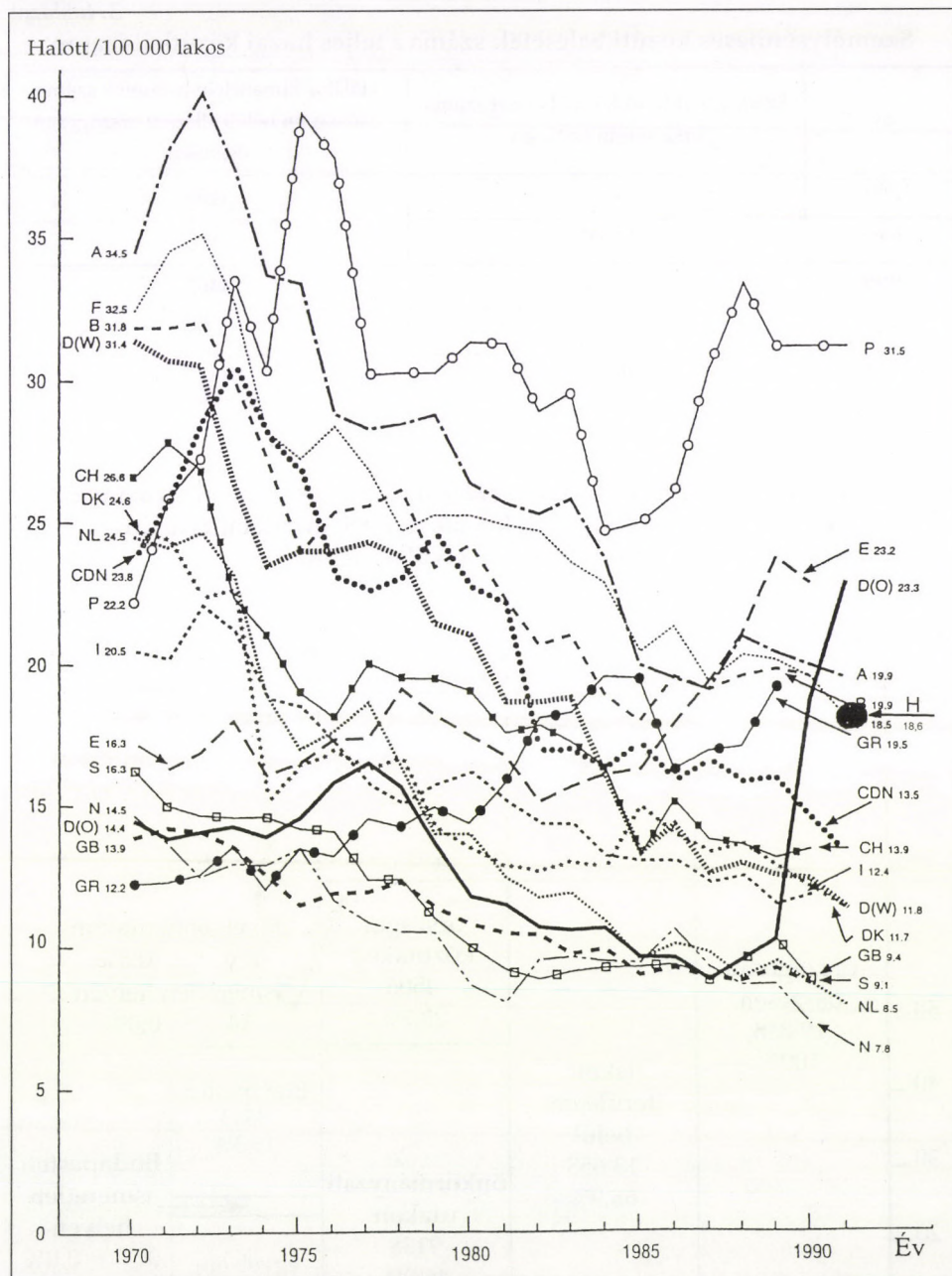
| | Halálos kimenetelű baleset | | Összes baleset | |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1996. I–IX. hó | 1997. I–IX. hó | 1996. I–IX. hó | 1997. I–IX. hó |
| Járműbalesetek | 33 | 36 | 1605 | 1682 |
| Utasok balesete | 1 | – | 48 | 41 |
| Gyalogos elütése 0–6 éves korig | 1 | – | 31 | 37 |
| Gyalogos elütése 7–14 éves korig | – | – | 179 | 144 |
| Gyalogos elütése 15–24 éves korig | 4 | 7 | 139 | 123 |
| Gyalogos elütése 25–60 éves korig | 22 | 25 | 346 | 387 |
| Gyalogos elütése 60 év felett | 32 | 27 | 218 | 243 |
| Gyalogos elütése összesen | 59 | 59 | 913 | 934 |

Az országos közúti baleseti helyzetet a személysérüléses közúti balesetek száma a teljes hazai közúthálózaton (3. táblázat) és a balesetek megoszlása önkormányzati utak és országos közutak között (4. táblázat) jellemzi.

A táblázatokból látható, hogy az 1991. év rossz baleseti helyzete fokozatosan javult, és lakott területen belül a balesetek mintegy 70%-a, lakott területen kívül 30%-a következett be.

Az európai közúti baleseti helyzetet és alakulását (az OECD-országokban) a 100 000 lakosra eső, a közúti baleset következtében elhunyt áldozatok számával jellemzik (1. ábra). (Ez az érték Magyarországon 18,6.) Az adatok a közúti közlekedési balesetek kockázatának mértékét jellemzik.

A közúti balesetek nagyon sokba kerülnek. A baleseti költségeket az 5. táblázat mutatja be. Látható, hogy a magyarországi értékek sokkal kisebbek, mint a német számok. Ha közelítenénk a német értékekhez, talán több pénz jutna a biztonságot növelő közúti építkezésekre.



1. ábra. Az OECD-országokban a 100 000 lakosra jutó közúti balesetekben elhunytak száma

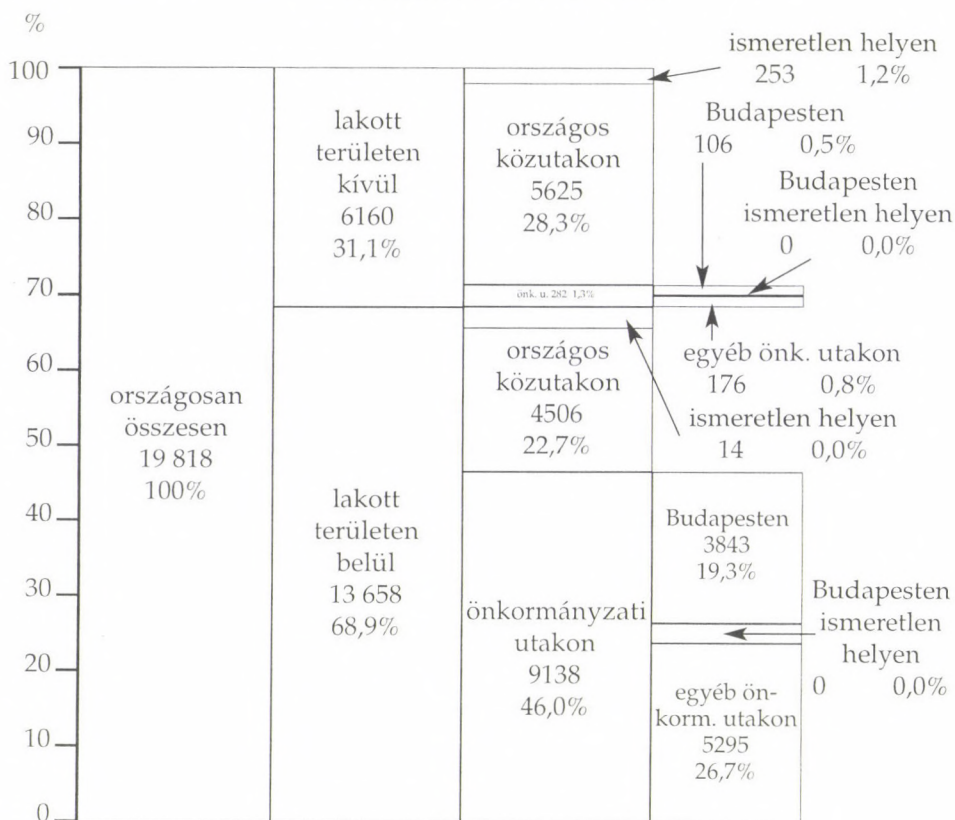
3. táblázat

Személy sérüléses közúti balesetek száma a teljes hazai közúthálózaton

| Év | Személy sérüléses közúti baleset száma országosan összesen | Halálos kimenetelű balesetek száma (30 napon belüli állapot) országosan összesen |
|------|--|--|
| 1991 | 24 511 | 1863 |
| 1992 | 24 623 | 1849 |
| 1993 | 19 526 | 1462 |
| 1994 | 20 723 | 1390 |
| 1995 | 19 818 | 1414 |

4. táblázat

Személy sérüléses közúti balesetek számának megoszlása önkormányzati utakon és országos közutak között az 1995. év adatai alapján, lakott területen kívül és belül



5. táblázat

Közúti baleseti költségek

| A sérülés mértéke | Németországi adatok | Magyarországi adatok |
|-------------------|---------------------|----------------------|
| Halálos | 132 MFt/fő | 25 MFt/fő |
| Súlyos | 6 MFt/fő | 1,4 MFt/fő |
| Könnyű | 0,5 MFt/fő | 0,4 MFt/fő |

A balesetek megelőzésére, súlyosságuk csökkentésére minden országban nagy erőfeszítéseket tesznek. Ezzel a céllal szervezeteket állítanak fel és nemzeti programokat hoznak létre (6. táblázat). Hazánkban ilyen szervezet például az Országos Balesetmegelőzési Bizottság vagy a Fővárosi Közlekedésbiztonsági Társaság. A végrehajtandó intézkedéseket a Magyar Nemzeti Közlekedésbiztonsági Program tartalmazza. Európában több szervezet foglalkozik a közúti biztonság kérdésével (az OCDE, a CEMT, az ETSC). Az EU-nak hivatalos közlekedésbiztonsági programja van.

Ezek a programok főleg a neveléssel (a sajtón keresztül), a gépjárművezetők és -használók viselkedésmódjának befolyásolásával (biztonsági öv használatával, lakott területen kívül a gépkocsi világításának kötelező bekapcsolásával), a legveszélyeztetettebbek (időskorúak, gyerekek) közlekedési problémáival foglalkoznak. Az előbbieken felül közútépítéssel kell kedvezően befolyásolni a balesetek számát és súlyosságát.

6. táblázat

A közúti közlekedés biztonságával foglalkozó szervezetek és programok

| |
|--|
| Országos Balesetmegelőzési Bizottság Fővárosi Közlekedésbiztonsági Társaság |
| Magyar Nemzeti Közlekedésbiztonsági Program |
| Organisation de Coopération et de Développement Economiques Conférence Européenne des Ministres des Transports European Transport Safety Council |
| EU hivatalos közlekedésbiztonsági programja |

Jó példa erre a franciaországi gyakorlat. Ebben az országban a különösen veszélyes csomópontokon a közlekedésbiztonsági program keretében több mint 10 000 hagyományosan üzemelő csomópontot építettek át körforgalmú csomóponttá. Ezek az új körforgalmú csomópontok már nem a régi, a jobbkez-szabálynak megfelelő forgalmi rend szerint üzemelnek, hanem úgy, hogy a körpályán haladó járműveknek van elsőbbségük a csomópontba belépő járművekkel szemben. Méretük kicsi. A középsziget sugara általában kisebb 20 méternél (a budapesti Clark Ádám tér – amely nem körforgalom – kör alakú középszigetének sugara 19,0 m).

A körforgalmú csomópont – a korszerű, kis méretekre törekvő felfogás szerint megépítve – kényszeríti a jármű vezetőjét a lassú haladásra. A körforgalmú csomópontok biztonságára jellemző néhány hazai adat: a Nyugat-Dunántúlon 13 darab, 1992–1996 között megépült körforgalmú csomóponton összesen 5 könnyű sérüléses baleset következett be, szemben az átépítés előtti mintegy 10 évben bekövetkezett 18 halálos, 79 súlyos sérüléssel és 131 könnyű sérüléssel járó balesettel (a 10 éves időtávlat miatt az átépítés előtti és utáni helyzet összehasonlításánál az utóbbi értékeket harmadolni kell).

A közúti forgalom biztonsága növelésének egyik leghatékonyabb módja a forgalomcsillapítás. Ott, ahol bevezették, az elsődleges cél mindig a közúti balesetek súlyosságának és számának csökkentése volt (és a közúti közlekedés okozta környezeti károk mérséklése). Lényege: építési kialakítással elérni, hogy a sebesség mérséklődjék, a forgalomnagyság csökkenjen. A forgalomcsillapítás lehetséges módjai:

- Területi
 - gyalogos övezet létesítése
 - lakó-pihenő övezet létesítése
 - korlátozott sebességű övezet létesítése
- Vonal
 - helyi mellékutak esetén
 - helyi főutak és országos közutak átkelési szakasza esetén;
- Pontszerű
 - védendő intézményeknél.

A gyalogos övezeteket nagyobb településeknél alkalmazzák. Fontos a jó tömegközlekedési megközelítés és a helyi lakosok és üzletek kiszolgálásának biztosítása.

A lakó-pihenő övezetek esetén a cél a 20 km/órás megengedett legnagyobb sebesség biztosítása, költséges építési kialakítással.

A korlátozott sebességű övezet (Tempo 30) létesítésekor a 30 km/órás megengedett legnagyobb sebesség biztosítása kisebb mértékű, az előbbinél kevésbé költséges építési kialakítással és a jobbkez-szabályon alapuló forgalmi rend bevezetésével történik, lehetőleg területi lefedésben. A legfeljebb 1 km átmérőjű körzetet övező helyi úton a megengedett sebesség 50 km/óra. A sebesség ellenőrzését az övezeten belül mérésekkel és a megengedett sebesség túllépésé-

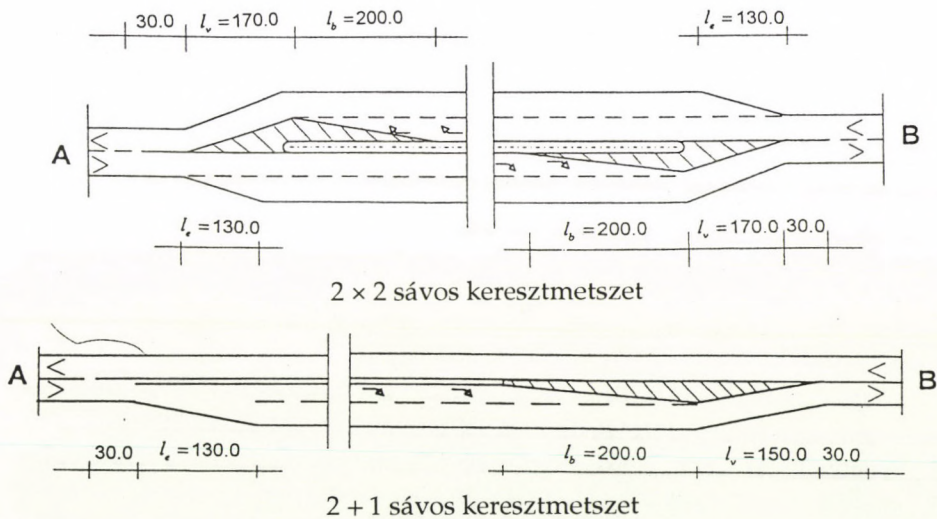
nek szankcionálásával kell végezni. A vonali forgalomcsillapításnál (például kistelepek esetében nem túl nagy forgalmú szakasza esetén) a cél az 50 km/órás sebesség túllépésének megakadályozása építési eszközökkel (például települések „bejárat-
kapujának” kialakításával).

A helyi főutak esetén az útépitési kialakítással támogatott forgalomcsillapítás vitatott kérdés. Véleményem szerint igenis alkalmazni kellene.

Pontszerű forgalomcsillapítás védendő létesítményekre (iskolák, óvodák, öreg-
otthonok) esetleg alkalmazandó.

Meg kell említeni még két korszerű, a forgalombiztonságot nagymértékben
növelő létesítményt: az előzési szakaszokat és az intelligens közlekedési rendsze-
reket.

Az előzési szakaszok (2. ábra) két forgalmi sávós keresztmetszetű országos fő-
utak esetén: javítják a szolgáltatási szintet, mert csökkentik az oszlopban haladás
időtartamát, gazdaságosak, külföldön a járművezetők előnyben részesítik, a kör-
nyezetet nem károsítják.



2. ábra. Előzési szakaszok

Lehetséges kialakítási módjaik:

- 2 + 1 sávós keresztmetszetű kialakítás,
- 2 x 2 sávós keresztmetszetű kialakítás (a két irány között mindig az áthaladást lehetetlenné tevő fizikai elválasztással).

A hazai közúthálózat fejlesztésénél, a gyorsforgalmi utak hálózatának kialakításánál alkalmazása alapvető fontosságú lesz.

Az intelligens közlekedési rendszerek a közúti balesetek csökkentésére tett intézkedések egyik korszerű módja. Külföldön elterjedt, Magyarországon – az autópálya vonatkozásában – tervezik. (Ilyen például az M0-ra tervezett forgalom-szabályozó információs rendszer.)

Befejezésül: komolyan kell venni a közúti baleset-elhárítás kérdését, azt, hogy a közúti balesetek az egyéni szenvedéseken túlmenően milyen gazdasági veszteséget okoznak, és elő kellene teremteni a pénzt a biztonságos útépitési kialakítások megvalósításához.

Árvizek okozta kockázatok

Az élet alapja a víz. Sem növényzet, sem állatvilág, sem emberiség nem létezne víz nélkül. Ugyanakkor azonban az emberiségnek katasztrófákat, tragikus eseményeket okoznak a víz földi körforgásának a szélsőségei, a vízjárásának a maximumai: az árvizek, minimumai: az aszályok, a mozgó víz kinetikus energiájának szélsőségei okozta erózió és föliszapolódás, a vizek élővilágának, biopotenciáljának szélsőségei, a maláriát, sárgalázatot, bilharziát okozó mocsarak, tavak, valamint a biopotenciál teljes hiánya: az élőlények nélküli vizek.

Ezek a katasztrófák történelmünk kezdete óta arra készítették az emberiséget, hogy ellenük alkotómunkával védekezzenek. A Biblia ószövetségi és újszövetségi dokumentumai mellett Afrika, Kis-Ázsia, India, Kína ókori műemlékei bizonyítják, hogy az árvizek, aszályok ellen nemcsak *passzív* művekkel, például gátakkal, védekeztek őseink, hanem 2000–5000 évvel ezelőtt is tározókkal, malmokkal szabályozták a vízfolyások vízjárását, kinetikus energiáját, *aktív* vízgazdálkodással emelték környezetük biztonságát, jólétét.

Magyarország területén is már 1500 évvel ezelőtt épültek tározók, völgyzárógátak, amelyek közül a Várpalota melletti Kikeri-tó Pannonia egyik legértékesebb műemléke, az aquincumi 6 km hosszú ivóvízcsatornával együtt. *Szent István* királyunk, midőn a levert lázadó Koppánynak birtokait a veszprémi püspökségnek adományozta, ebben a dokumentumában külön hangsúlyozta, hogy a püspökség malmokat kap (Gutheil, 1979). Történelmünk során számos árvíz terhelte hazánkat. *Zsigmond király* elrendelte, hogy a Csallóközben és Szigetközben élő jobbágyok a szokásos robotmunka helyett az itteni községeknél árvédelmi töltéseket építsenek. Költőnknek, *Janus Pannonius*nak egyik hosszabb verse, a *De inundatione*, az országot romboló árvízről szól. 1501-ben a Duna árvize szerzetesi rendházakat is elöntött, s ezek naplói alapján tudjuk, hogy ez az árvíz minden későbbinél nagyobb volt (Simon, 1996).

Folyóink árvédelmi töltéseinek múlt századbeli megépülte után a korábban sokszor elöntött árterek az ország legértékesebb területeivé alakultak, ahol mező-

gazdasági és ipari létesítmények, közlekedési útvonalak épültek, s a lakosság létszáma gyarapodott.

A Tisza árvízvédelmi rendszerét egyik legkiválóbb vízimérnökünk, *Vásárhelyi Pál* úgy tervezte meg, hogy az jelenleg is a legbiztonságosabb. A terv a töltésrendszer számára felhasználta a Tisza-part közeli terepkiemelkedéseket, és egyidejűleg felismerte, hogy a folyó vízvezetési viszonyait összesen 102 átvágással javítani kell. A Tisza vízszíneének kicsiny esése az átvágásos rövidítés arányában 1,6-szeresére nőtt, ami az áramlási sebességet annak négyzetgyöke arányában 1,26-szorosára, 26%-kal növelte. A megrovidított síkvidéki folyószakaszon a lefolyás időtartama ezzel $1,6 \cdot 1,26 \approx 2$ arányban, kb. a felére rövidült (Vágás, 1997).

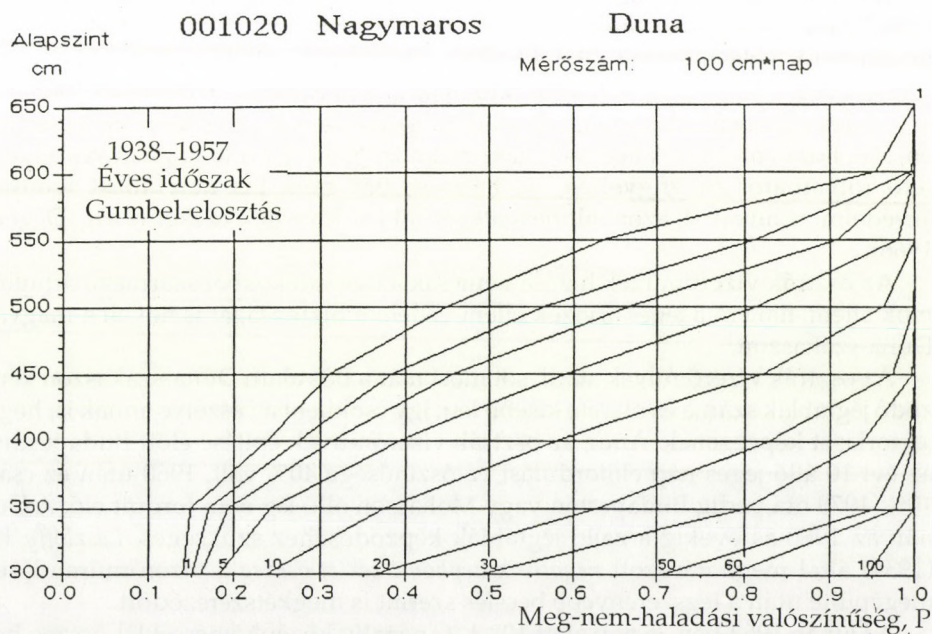
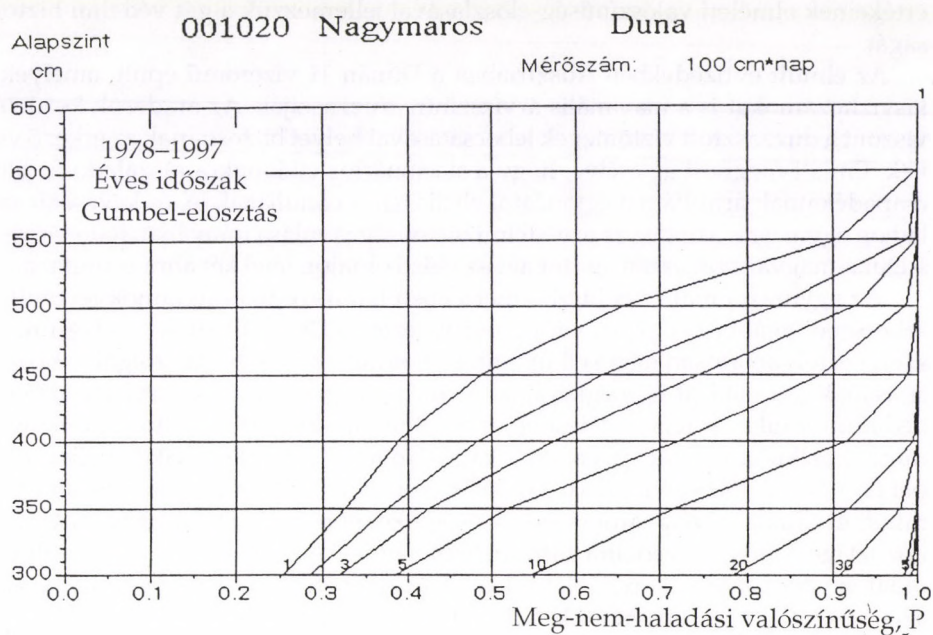
Bonta Imre (1998) meteorológus elemzése szerint az 1954. évi szigetközi, az 1965. évi csallóközi és vajdasági katasztrófákat okozó dunai árvizet és az 1970. évi, minden eddigit meghaladó, de a Vásárhelyi-féle árvédelmi rendszerrel kivédett Tisza-völgyi árvizet stacionárius ciklon, több mint 3 hónapos, egymásra halmozódó (szuperonálódó) meteorológiai frontsorozat árvize hozta létre. Bonta hidrometeorológiai elemzését az ószövétségi biblia és a *Gilgames*-eposz is alátámasztja, amikor leírják, hogy a híres „özönvizet” 40 napos, tehát feltehetően egymásra halmozódó ciklonok csapadéka előzte meg.

Az Egyesült Államok vízimérnökei 1935–37 között tanulmányozták a Tisza és mellékfolyói árvédelmi rendszerét, hogy az itt szerzett tapasztalatokat hasznosítsák a Missisipi–Missouri árvédelmi rendszerénél. 1997-ben az amerikai vízügyi szakemberek az oderai árvízi katasztrófa után is azt tanácsolták a lengyel vízimérnököknek, hogy tanulmányozzák a világ egyik legbiztonságosabb árvédelmi rendszerét, a Tiszáét.

A Tiszával ellentétben a Duna Pozsony és Orsova közötti árvédelmi töltéseit száz év óta több alkalommal is áttörték az árvizek. Így többek közt 1897-ben és 1899-ben a Szigetközben és Csallóközben, 1941-ben Budapest fölött és alatt, 1954-ben a Szigetközben, 1956-ban a Csepel-szigettől a Dráva torkolatáig a folyó mindkét oldalán jégtorlasz okozta szakadással több tucatnyi helyen, 1965-ben a Csallóközben és a Vajdaságban voltak hatalmas árvíz-katasztrófák.

A hazai árvízi katasztrófák során az árvizek csak ritkán, rendszerint télen, a folyó zátonyain elakadó jégtáblák alkotta torlaszok fölött földuzzadva emelkedtek túl az árvédelmi töltések koronaszintjén. Ezzel szemben a csapadék által gerjesztett árvizeknél a katasztrófát leginkább az árvédelmi gátnak az átszakítása és csak ritkábban az áthágása okozta. Az árhullámok közötti száraz évek során a kiszáradó gátak zsugorodó anyaga összeroppedezhet, a gátak testében, azok altalajába különböző állatok vagy növényi gyökerek is járatokat fúrhatnak. Az árvédelmi töltést az altalajon át szivárgó víz még el is áztathatja. Egyes, évszázados, kezdetlegesebb technikával épült gátszakaszokat még nem újíttattak föl, vagy átépítésük nem volt kielégítő minőségű. Mindez jelentős kockázati tényező.

Az 1954. évi szigetközi gátszakadások tanulságai nyomán *Károlyi Z.* mérnök meghatározta az árvédelmi töltések átszakítását veszélyeztető *töltésterhelés* fogalmát és numerikus értékeit. Eszerint az árhullámok vízállás-időgörbéiről az árvédelmi töltésláb szintjével elmesztett részek fölötti ábraterületek évi maximális



1. ábra. Árvízi terhelés maximumainak eloszlása

értékeinek elméleti valószínűség-eloszlásával jellemezzük a gát védelmi biztonságát.

Az elmúlt évtizedekben Ausztriában a Dunán 11 vízerőmű épült, amelyek a kisvízhozamokat is a maximális árvízszintre duzzasztják. Az áradások kezdetén viszont a duzzasztott víztömegek lebocsátásával helyet biztosítanak az érkező víznek. Emiatt megnőtt az esélye, hogy a stacionárius ciklonokra rászaladó frontok csapadékaiknak árhullámai egymástól elválasztva vonuljanak le, és kevesebb szaladjon egymásra. Mindez az árvédelmi biztonság javulása irányában ható tényező a Duna magyar szakaszán, amint azt az előző oldalon lévő két ábra is mutatja.

Az egymásra már csak kisebb mértékben halmozódó árhullámok levonulási sebessége továbbra is gyors, sőt gyorsabb, ezért a Duna árvízi előrejelzési rendszerét is folyamatosan meg kell újítani. Ez viszont az árvédelmi szolgálat mozgósításának gyorsítását is megkívánja. Nem hanyagolható el az árvizek idején a védelmi munka. A legtökéletesebb árvédelmi gátak sem biztosíthatják védelmi munka nélkül a mentett ártereket a katasztrófáktól. Erre az egyik legjellemzőbb példa a Duna 1965. évi árvize. Az 1954. évi árvíz során ugyanis a Felső-Duna mindkét oldalán, Magyarországon a Szigetköznél, Csehszlovákiában a Csallóköznél igen súlyos árvédelmi gátterhelések voltak, ami ellen akkor csak a szlovák oldalon védekeztek sikerrel. Nálunk a bekövetkezett szigetközi gátszakadásokat az árvizet követően kijavították, a töltéstegeteket is megnövelték

Szlovákiában 1955 után a töltés koronaszintjét a magyar oldalnál nagyobb mértékben, 1 m-rel magasították, a 4 m-es gátkoronát 6 m-re szélesítették, és a gátak 1:1, 1:1,5 hajlású részeit 1:3, 1:4 hajlásúra bővítették, a töltés testét mintegy háromszorosára növelve. A töltésfejlesztés hatásaiban túlságosan bízva, az 1965. évi árvíz idején Szlovákiában még a figyelőszolgálatot sem szervezték meg kielégítően, ami hozzájárult a csallóközi katasztrófához. Nálunk minden gátat veszélyeztető folyamatot megfigyeltek, és hatásos, bár nem kis helytállást igénylő árvédelmi munkával, azonnali beavatkozásokkal kivédtek ezeket (Ihrig-Dégen, 1966).

Az osztrák vízerőművek hatása nemcsak a csapadékokból származó árhullámok elleni, hanem a jeges árvizek elleni védelem biztonságát is növeli a magyar Duna-szakaszon.

Az osztrák vízerőművek alatti, sőt most már a Bős alatti Duna-szakaszon képződő jégtablák száma és mérete kisebb lett, így csökkent a veszélye annak is, hogy jégtorlaszt képezzenek. Amíg az osztrák vízerőművek építése előtt Budapestnél az évi 10 álló jeges nap előfordulási valószínűsége 40% volt, 1960 után ez csak 10%. 1970 óta pedig Budapesten vagy Mohácson álló jég nem fordult elő. A Dunán az 1960-as évekig a zajló jégtablák képződéséhez szükséges, Lászlóffy W. (1934) által meghatározott *negatív középhőmérséklet-összeg* a vízerőműrendszer megépülte után a legszerényebb becslés szerint is megkétszereződött.

A Dunán 1962-ben 26 nap alatt 102,4 °C negatív középhőmérséklet-összeg hatására alakult ki az álló jég, ugyanakkor 1985 januárjában 13 nap alatti 121,4 °C negatív középhőmérséklet-összeg sem képezett a magyar Dunán sehol sem álló jeget (Starosolszky, 1989). A duzzasztóművek nemcsak visszatartják a fölülről ér-

kező jégtáblákat, hanem a duzzasztott víztérben már a jégzajlás előtt stabilizálódik a folyót fedő jégtakaró. A vízerőmű turbináin pedig ezen jégtakaró alól ömlik át az alvízre a jégmentes víz. A magyar Duna-szakaszra tehát az osztrák Felső-Dunáról jégtáblák nem érkeznek, és csak az esetleges, itteni hideg levegő hatására képződhetnek (Gönyü alatt) nyilvánvalóan kisebb, új jégtáblák, amelyek csak egészen különleges további körülmények miatt torlódhatnak egymásra (pl. ha a hosszan tartó jégborítottságot északról délre haladó fölmelegedés kezdi olvasztani). A pest-budai, 1838. évi, „történelmi” árvizet okozó, jégtorlaszt alakító, Csepel-szigeti gázlót már a múlt században szabályozták. Az 1956. évi jeges árvíz után pedig a Dunaföldvár alatti, jégtorlaszt képző gázlókat 1960-ban folyószabályozási eszközökkel rendezték. Ma már tehát a magyar Duna-szakaszon is lényegesen megnehezítették a jégtorlaszt képződésének föltételeit. A jeges árvíz elleni védekezés jelen formája a jégtorlaszképződés megakadályozása, s másodsorban az árvédelmi töltések méretnövelése. Ez a Tisza szabályozásával annak idején is már tökéletesen sikerült.

Jelenleg tehát nem az szükséges elsősorban, hogy ahol az árvédelmi gátak a kellő biztonsági fokot elérték, azoknak további erősítését szorgalmazzuk (ellentétben a kiépítés hiányait mutató folyó- és töltésszakaszokkal). A mentett területek hatalmas arányban megnőtt értéke azonban megköveteli, hogy árvizek idején hatékony árvédelmi munkát végezzünk, amelyhez a vízügyi szerveknek kellő számú szakértő árvédelmi mérnökre, technikusra, szakmunkásra, könnyűbúvárra, megfelelő számú és kapacitású földmunkagépre, anyagra, eszközre, vízi járműre van szüksége. És mivel az osztrák vízerőművek nemcsak csökkentették a töltésterhelést, s ezáltal az árvízveszélyt, hanem a korábban egymásra futó árhullámok elkülönültebb, gyorsabb levonulását is biztosítják, az árvédelmi szolgálat hatékony munkája végett a Duna árhullámjainak előrejelzési rendszerét kell följújtani. Az 1954. évi dunai árvizet követően dolgozta ki az 1964–1977 között az ENSZ vízügyi szerveinél is működő *Szesztay Károly* (1956) a paramétermentes regresszió fölépített előrejelzési módszerét a Duna árvizeire. Ezt az előrejelzési módszert kellene most a friss adatokkal korszerűsíteni és számítógépekre alkalmazni. A Tisza árvédelmi rendszerének biztonságát ma már egyre inkább megközelítő Duna menti árvédelem mellett e két nagy folyónknak mellékfolyóin még elég jelentékenyek az árvizek okozta kockázatok. A Rábán 1965-ben, a Szamoson 1970-ben, a Körösökön 1980-ban, kisebb egyéb folyóinkon 1963 és 1975 között jóformán minden második évben volt valahol gátszakadás. A Rába árvédelmi töltésén az észlelt és hidrogeotechnikai folyamatokat a gátak átépítésével javították. A Szamos határon túli szakaszán épült 120 millió, és a Sebes-Körösnek ugyancsak a határon túl épült 60 millió m³ térfogatú két tározója e két folyó árvizeinek csökkentésére hivatottak, ahogy azt az 1997. és 1998. évi árvizek során tapasztaltuk. A Fehér- és a Fekete-Körös hazai árvédelmi gátjait pedig a közelmúltban vízimérnökünk, *Goda Péter* irányításával fejlesztették.

1996 januárjában a Rajnán hatalmas árvíz volt, amelytől a holland vízügyi szolgálat hazáját tökéletesen megvédte. Erről nemcsak a holland szakfolyóiratok, hanem a napilapok is azt írták, hogy ekkor a holland vízimérnökök is olyan nagyszerűen védték meg a Rajna árvizétől hazájukat, mint a magyar vízimérnökök

Magyarországot a Duna és a Tisza árvizeitől. Ezt olvasva a *Delfti Műszaki Egyetem* 35 hallgatója és két oktatója 1996 nyarán a Budapesti Műszaki Egyetemre jött, fölkerve a Vízgazdálkodási Tanszéket, hogy tanulmányozhassák a magyar árvédelmet. E holland hallgatókkal együtt látogattuk meg a Körösök árvédelmi töltéseinek éppen folyó felújítási munkáit. Az átépítendő gát koronájának közepén gyulai kollégáink több hosszú repedést mutattak. A repedések lefelé még jobban szélesedtek. Az árvédelmi gát testében és az altalaján végbement meghibásodásoknak oka lehetett, hogy a töltésmagasítások súlya alatt a puhább altalaj összenyomódott, és fölötte a töltéstest szétrepedt.

Hogy hol, milyen mértékben vagy módszerrel szükséges a töltések magasztása, azt a folyók maximális árvízszintjeinek valószínűségi eloszlásfüggvényei alapján lehet jellemezni. Hazánk folyóin mért legalább 80, de sok esetben 100–120 éves vízállás- és vízhozam-adatsorunk van, amelyekből megbízhatóan lehet következtetni az évi maximális árvízhozamok valószínűségi eloszlásának elméleti eloszlásfüggvényeivel. A 100 ezer km^2 -nél nagyobb vízgyűjtőjű vízfolyásoknak, így a Duna és Tisza hazai vízmércéinek évi maximális vízhozamai *normális eloszlásúak*, hiszen az ilyen nagy folyók árvízhozama is legalább húsz egymástól független vízjárású mellékfolyó vízhozamának az összege. A 10 ezer km^2 -nél kisebb vízgyűjtőjű, heves vízjárású vízfolyások, például a Körösök bármelyikének évi maximális vízhozamai a *Gnyegyenko-tétel* szerint *szélsőérték-*, azaz *Gumbel-* vagy *Fréchet-eloszlásúak*. Bernier azt javasolta, hogy a 10 ezer km^2 -nél nagyobb vízgyűjtőjű folyók maximális árvízhozamainak eloszlásfüggvényeit nem az évi, hanem a két-, esetleg a háromévi maximumok *Gumbel-* vagy *Fréchet-eloszlásfüggvényeivel* jellemezzék (Bernier–Fandoux, 1969). Ennek megfelelően pl. a Maros árvízi eloszlásfüggvényét a háromévenkénti maximális vízhozamok *Gumbel-eloszlásával* lehet jellemezni. Az évi (esetleg két- vagy háromévi) maximális vízhozamok homogén statisztikai mintáiból számított elméleti eloszlásfüggvények különböző meghaladási valószínűségű vízhozamaiból meghatározhatók a vízmércék aktuális vízhozamgörbéi alapján a gátak koronaszintjét rögzítő vízállások.

A Körösök melletti települések eredményesebb védelme végett a Fekete- és a Fehér-Körös torkolata fölött, valamint a Kettős-Körös és a Sebes-Körös torkolata fölött, a gátakkal védett árterén véstározónak is nevezett *sükségtározókat* létesítettek, amelyekkel tovább lehetett enyhíteni a heves árhullámok által keltett veszélyeket. 1997-ben a Sebes-Körösön nem érkezett veszélyes árhullám, mert azt a román területen létesült 60 millió köbméteres tározó fogta fel.

Évtizedek óta a domb- és hegyvidéken a kisvízfolyások árvédelmét is igyekeznek rendezni. Fölsimították, hogy a kisvízfolyások mentén árvédelmi gátak nem építhetők, mert azokon az árhullámok olyan gyorsan szaladnak le, hogy az árvédelmi szolgálat nem képes biztosítani a gátak védelmét a szakadások ellen.

Ezért gátak építése helyett magát a vízfolyások természetes medreit mélyíteték olyan mértékben, hogy a legnagyobb árhullámok is a mederben futhassanak le. A kisvízfolyásokon azonban a kisvizek és az árvizek vízhozamának az aránya a nagy folyók vízhozamarányainak többszöröse. A Dunán a legkisebb vízhozamok és az árvízhozamok aránya kb. 1:10, ugyanakkor a Rakaca patakon ez az

arány kb. 1:10 000. Emiatt az árvízhozam szállításra kimélyített kisvízfolyásban a kisvízhozamok a hatalmas meder mélyén túlságosan szétterülhetnek, ami az élővilágot károsíthatja. A patakok nagyobb esésű felső szakaszain több heves vízjárású kisvízfolyáson épített *esészsökkentő bukók* sem váltak be tökéletesen. Ezek a jelenségek nemcsak hazánkban, hanem Európa más országaiban is jelentkeztek. A megoldás a víz kinetikus energiájának mechanikus vagy törpeerőművekkel elektromos energiává való átalakítása és ennek hasznosítása. Az Európai Unió 1996-ban meghirdette ezt az Unió minden országában.

Árvízcsökkentő tározóink mellett hazánkban számos vízhasznosítási tározó is épült és működik. A Pannoniában épült, valószínűleg haltenyésztést szolgáló várpalotai Kikeri-tónak nevezett ősi tározó környezetében, a Gaja patakon, Fehérvárcsurgónál a Vaskapu-tározót, a Császárvízen Pákozdnál a Kőkapu-tározót Károly Róbert király építtette, majd pedig az 1930-as években számos vízhasznosítási tározó épült a Bakonyban, a Mátrában, a Bükkben, a Mecsekben és a legutóbbi időkben pedig a halászházok, horgászok építettek sok tározót a Dél-Dunántúlon. A nagy folyók medrétől nagyobb távolságra épített árvédelmi gátak vagy természetes magaspártok és a folyó közötti széles hullámtéren, pl. a Csepel-szigeten Tököl mellett, a gemenci erdőben Bata mellett olyan mezőgazdasági területek vannak, amelyeket a tavaszi, nyári árvizek okozta zöldkárak ellen a fővédvonal árvédelmi gátjainál kisebb, úgynevezett *nyári gátak* védenek. Szintén matematikai statisztikai vizsgálattal lehet a nyári gátak optimális méreteit meghatározni, hogy a beruházási költség és a gátat áthágó árhullámok okozta zöldkárak minimálisak legyenek.

Elsősorban a hegyvidéki völgyzáró gátaknál lényeges a biztonság szempontjából, hogy alkalmasan méretezett vészkiömlőkkel is el legyenek látva. Egyes katasztrófák hatására a francia vízügyi szolgálat például minden tározónál előírta a méretezett árapasztó bukók mellett vészkiömlő építését is. Ezek a vészkiömlők, amelyeket a franciák túlfolyóknak (*trop plein*) neveznek, biztosítják, hogy a rendkívüli árvizek többletvize ne a völgyzáró gáton, hanem a gát mellett a terep szintjén ömöljék át.

1962 nyarán az akkor épülő Rakacai-tározó vízjárását vizsgálta Szígyártó Zoltán mérnök. A vizsgálat kötelezte az építőt, hogy a tározó árapasztója mellett vészkiömlőt is építsen. A vészkiömlő el is készült, és néhány hónap múlva a nagy vízhozamú árapasztó mellett ezen vészkiömlőn át is legalább $30 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozam bukott át kár okozása nélkül. Ha ez a vészkiömlő nem épült volna meg, a tározó földből épült völgyzáró gátját a rajta átbukó víz átszakíthatta volna, veszélybe hozva ezzel a patakot befogadó Bódva mentén lakott területeket. Vészkiömlő készült a Gaja patak fehérvárcsurgói Vaskapu-tározóján 1974-ben és a Melegvíz gyepekújvári árvízcsökkentő tározóján 1968-ban.

1998-ban a 25 év után újra jelentkező *belvízi elöntések* is terhelték, károsították mezőgazdaságunkat. A síkvidék nedves talajára hulló vagy a télvégeken ott hirtelen elolvadó sok csapadék elönti a mezőgazdasági tájat, és ezt a vizet igen nehéz a vízszintes terepen elvezetni. Az 1940-es, majd a '60-as, '70-es évek belvizei okozta pusztítások elleni védekezésben a magyar vízügyi szolgálatnak nagyszámú

mérnöke vett részt. A belvizeket rendszerint árvizek idején kell a mentett területekről a magas vízállású folyókba vezetni, ami csak a belvíz főcsatornák torkolatában elhelyezett *torkolati szivattyútelepek* működtetésével lehetséges. A korábban már megépült belvízlevezető csatornába zsilipeket és ezeknél a zsilipeknél szükség szerint *esésnövelő szivattyúkat* is telepítenek. A több évtizedes száraz, belvízmentes idők után azonban a mezőgazdaság elhanyagolta a csatornák fenntartását, és a szivattyútelepek berendezését is több helyen eltulajdonították, megrongálták. A belvizek elleni védelemre emellett ugyanúgy fel kell készülni, mint az árvízvédelemre, s adott esetben megfelelő szaktudású vízimérnökök irányította munkacsoportokkal kell a védekezéseket megszervezni. A szervezett belvízvédekezés egyik legfontosabb alapja a *területi előrejelzés*.

Ehhez, mint ahogy azt *Salamon Pál* (1956) megállapította, a tavaszi hóolvasás hótakarójának víztartalma mellett figyelembe kell venni a talajnedvességet és a fagyott talajréteg vastagságát, és a késő tavaszi vagy a nyári belvízképződés területeit is a talajnedvesség adatainak figyelembevételével lehet a legpontosabban előrejelezni. Ezt már a múlt század végén fölismerve, *Bogdánfy Ödön* mérnök is kérte cikkeiben, hogy a csapadék, a légnedvesség, a léghőmérséklet és a talajhőmérséklet mellett a talajnedvességet is észleljék. Jelenleg elektromágneses szondázással ez a régi, talajmintás módszernél sokkal könnyebben valósítható meg.

Végeredményben megállapíthatjuk: hazánkban sokat tettek azért, hogy az árvizek okozta kockázatok csökkenjenek. Nagy folyóink árvédelme magas színvonalú. Kisvízfolyásainkon az árvízcsökkentő tározók tapasztalatai jók. A többi hazai kisvízfolyásunkon az árvédelmi biztonságot és a környezet védelmét elsősorban további árvízcsökkentő tározókkal, jól méretezett vészkiömlőkkel lehet és kell megoldanunk. A nagy folyók árveinél a gátak védelmét éppúgy, mint a kisvízfolyások árveit szabályozó tározók üzemeltetését és a belvizek elvezetését, az ország vízügyi szervezetének kell ellátnia. Ezen feladatok biztonságos végrehajtásához mind a nagy folyók és mellékfolyóik, mind a kisvízfolyások és a belvízi területek vízjárás-előrejelzését a megfelelő matematikai statisztikai szinten kell folyamatosan tovább fejleszteni.

Az árvízvédelmi szolgálat fenntartása, az abban részt vevők folyamatos képzése, így például az időszakos árvédelmi gyakorlatok szervezése jelenkorunk egyik további legfontosabb feladata, mert az árvédelmi munka, ahogy azt a sikertelen 1954. évi és a sikeres 1965. évi, valamint az 1970. évi tiszai árvízvédelem bizonyítja, magas szintű vízügyi szakmai ismereteket igényel. Az árvédelmet képzett és gyakorlott vízimérnök szakembereknek kell irányítaniuk, a védelmi munkát pedig szakavatott vízügyi technikusoknak, gátőröknek, munkásoknak kell végrehajtaniuk, megfelelő műszaki felszereléssel. Ezeknek ténykedését egészítheti ki nagyobb szükség esetén a polgári biztonsági szerveknek, a katonáknak, közerőknek a vízügyi szakemberek által irányított, szervezett segítségével.

Irodalom

- Bernier, J.-Fandoux, D. (1969): Théorie de renouvellement. Application a l'étude statistique des précipitations mensuelles. *Électricité de France Direction des Études et Recherches*.
- Bonta Imre (1998): Századunk nagy árvizei meteorológus szemmel. *Hidrológiai Közlöny*, 78. évf. 1. szám
- Gutheil Jenő (szerk.: Madarász Lajos) (1979): *Az Árpád-kori Veszprém*. A Veszprém m. levéltár kiadványa 1., Veszprém,
- Ihrig Dénes-Dégen Imre (1966): Dunai árvíz. *Vízügyi Közlemények*, 1966.
- Janus Pannonius: *Munkái* latinul és magyarul. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- Lászlóffy Woldemár (1934): A folyók jégviszonyai, különös tekintettel a magyar Dunára. *Vízügyi Közlemények*, 1934. évi 3. füzet.
- Nendtvich Gusztáv (1879): *A hazai folyókon végrehajtott szabályozási munkálatok megbírlására meghívott külföldi szakértőkből alakult bizottság jelentései*. Franciából fordította Nendtvich Gusztáv m. kir. segédmérnök. Budapest. 1879. 347 p.
- Salamín Pál (1956): *Belvízrendszerek tervezése. Elméleti szempontok*. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest.
- Simon Antal (1996): *Időjárás-események és katasztrófák 1700-ig*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1996.
- Starosolszky Ödön (1989): A vízlépcsők hatása a jégjárásra. *Vízügyi Közlemények*, 1989. évi 3. füzet.
- Szesztay Károly (1956): *Az árvízi előrejelzések néhány módszertani kérdése*. Beszámoló a VITUKI 1955. évi munkájáról. 3. évf. 147–175.
- Vágás István (1997): Második honfoglalásunk, a Tisza szabályozása. *Magyar Tudomány*, 1997. 1383.

Tartószerkezetek, földrengéskockázat

A sajtóban olvasott vagy a televízióban látott földrengési katasztrófák megdöbrentek az embereket, egy átélt földrengés maradandó rossz emlékeket hagy bennünk. A legtöbb ember azonban elfelejti a rosszat, és ezért a következő földrengésig sokszor megfeledkeznek a rengés elleni szükséges védekezésről. Pedig megfelelő óvintézkedésekkel a földrengés okozta anyagi és emberéleti kockázatot jelentősen csökkenteni lehet, ha nem is lehetséges teljes biztonságú védekezésről beszélni.

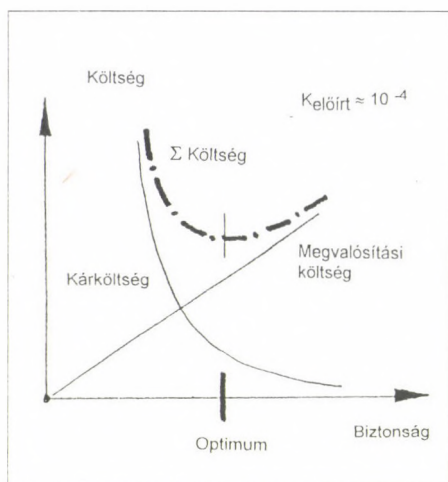
Tekintve, hogy a földrengéskárok rendszerint a tartószerkezetek károsodása és az épületek emiatti összeomlása következtében jönnek létre, e dolgozatunkban a tartószerkezet-méretezés alapelvét és a földrengés kockázati tényezőit kíséreljük meg bemutatni, kritikai szemlélettel nézve a mai védekezési módokat, különös tekintettel a magyarországi helyzetre.

A földrengés és a földrengésmérnöki fogalmak

Az első mérnöki próbálkozások a tartószerkezetek méretezésére mintegy 250 évek (maga a mérnöki méretezés mintegy 80–100 éve kezdődött); a mérnöki méretezés alapját képező mérnöki tudomány viszonylag fiatal, és még ma is számos kérdés megoldatlan.

A mai, korszerűnek tekintett méretezés alapelve az, hogy abszolút biztonság nincsen, a méretezésnek mindig van valamekkora K kockázata. A kockázat fordított arányban van a biztonsággal, így pl. a zérus kockázat teljes biztonságot jelentene, az egységnyi értékű kockázat pedig biztos tönkremenetelt.

A méretezés alapelve az, hogy a kockázat mindig kisebb legyen egy $K_{\text{előírt}}$ kockázati értéknél. Az előírt kockázat legnagyobb értékét a költségminimum alapján állapítják meg (1. ábra). Ez azt jelenti, hogy (jó kivitelezést feltételezve) minél erősebbre, azaz költségesebbre készítik a teherhordó szerkezetet, annál jobban csökken a kockázat. A szerkezet összköltségét a megvalósítási költség és a kár-

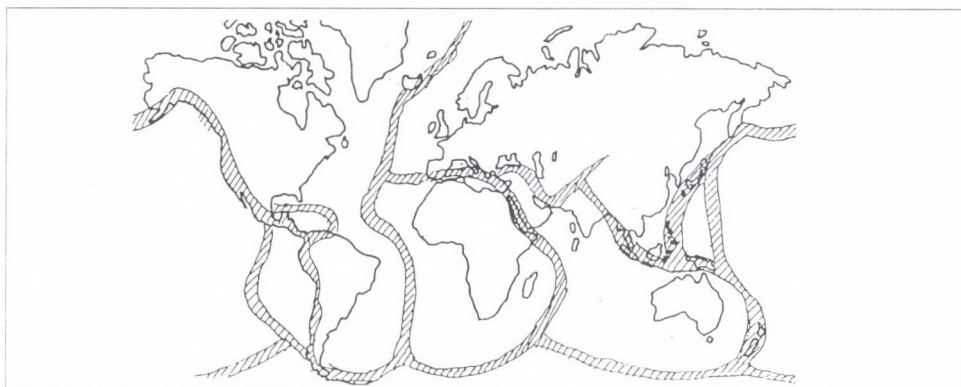


1. ábra. Költségoptimum
a megvalósítási és a kárköltség
(javítás) függvényében

vagy javítási költség összege adja. E költségösszegnek van egy minimuma, és ez a költségoptimum. Az emberéletet e számításban az átlagos életkor alatt termelt, egy főre eső nemzeti jövedelem összegével számszerűsítik. Egy bizonyos építési költség szint alatt biztos a tönkremenetel, és a kockázat ilyen értelmezésének csak ennél nagyobb biztonság, illetve kisebb kockázatvállalás mellett van értelme.

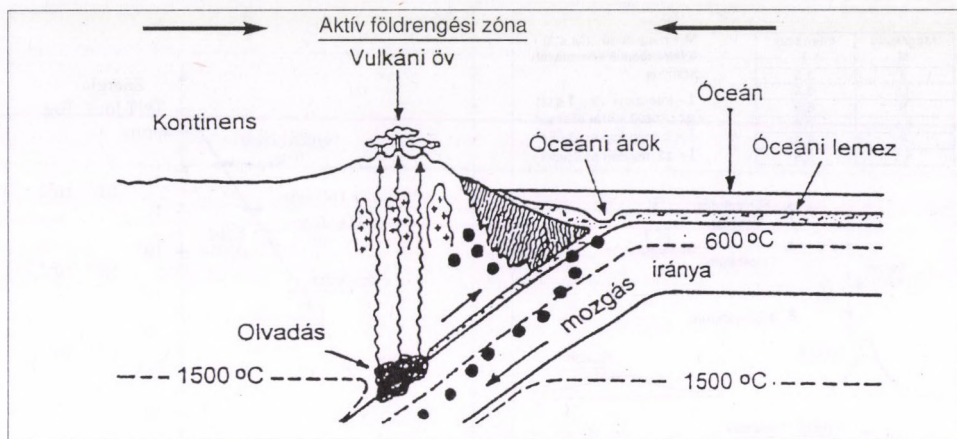
A földrengés kialakulhat erős vulkáni tevékenység vagy nagyméretű meteor becsapódásának következményeként is, de legnagyobbbrészt a földkéreg természetes mozgása az oka. A földrengésvédelemben a kockázat nehezebben becsülhető, mint az egyéb terhelési esetekben, mert még sok mindent nem tudunk a földkéreg belsőjének viselkedéséről.

Ha megtekintjük a Föld felületét kiterítve mutató térképet, akkor azon a nagyobb szeizmicitást mutató szakaszok – ahol a leggyakoribb a nagy földrengés – kijelölik a kontinentális táblák határvonalait (2. ábra). A határvonalak környékén



2. ábra. A világ legintenzívebb szeizmikus zónái (vonalkázott területek) kirajzolják a földkéreg tektonikus tábláinak határvonalát

az egyik tábla a másik alá nyomódik, és közben szakaszos megcsúszások, letöredeзések állnak elő (3. ábra). Ezek okozzák e területeken a nagy földrengés-aktivitást. E mozgások azonban távolabbi területekre is kihatnak, ahogy a földrengéshullám végigszalad a földkéregben, és ahol a törésvonalak menti súrlódás



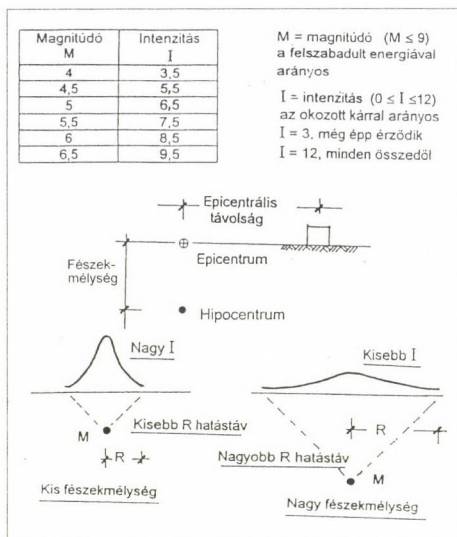
3. ábra. A kontinentális táblák találkozásának vázlata.
(A fekete pontok a földrengési hipocentrumokat jelzik)

kimerülőben van, ott ennek a hatására előbb-utóbb megcsúszás következhet be. Ez földrengést okozhat az intenzív földrengészónák területén kívül is, de kisebb intenzitással.

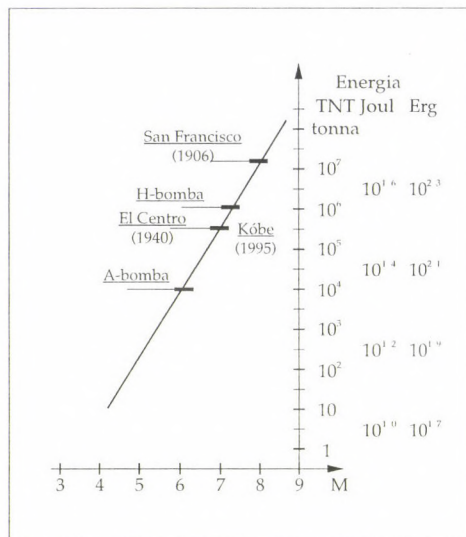
A földrengés erősségének mérésére két fogalmat használnak. Egyik a Richter által bevezetett M magnitúdó, mely a fészekmélységben lévő kipattanási hely, az ún. hipocentrumban kipattanó energia logaritmusaival arányos. A maximális magnitúdó $M = 9$ körüli, ez jelenti a földkéreg teljes eltörését. (A korunkig észlelt, illetve mért értékek mind 9 alatt voltak.) A másik mérőszám a Mercalli–Cancani kutató szerzőpáros által bevezetett és azóta többször módosított I intenzitás, mely a bekövetkezett károkkal mutat tapasztalati arányosságot. Az intenzitási skála 0-tól 12-ig terjed. A 3 alatti magnitúdójú földrengés csak műszeresen érzékelhető (ember által nem), az $I = 12$ -es epicentrális intenzitás pedig az $M = 9$ magnitúdó értéknek felel meg. Az intenzitási értékelés hátránya, hogy a bekövetkezett károknál nem tudják figyelembe venni, vajon méretezték-e például az összedőlt épületet földrengésre vagy sem, és ha igen, akkor mekkorára.

A hipocentrumból a föld felületére húzott normális a földfelszínt az epicentrumpontban döfi. Az intenzitás az epicentrumtól távolodva haranggörbe szerint csökken. Ugyanazon magnitúdóhoz kisebb fészekmélység esetén kisebb hatástáv és nagyobb intenzitás, míg nagyobb fészekmélység esetén nagyobb hatástáv, de kisebb intenzitás tartozik. Az epicentrális intenzitás és a magnitúdó közötti megközelítő összefüggést a 4. ábra táblázata tünteti fel.

A magnitúdókhöz tartozó felszabadult energia értékei láthatók az 5. ábrán, melyből kiderül, hogy a korábban etalonnak tekintett 1940. évi El Centro- (USA) rengés az 1995. évi kóbei (Japán) rengéssel körülbelül azonos energiájú volt, és mindkettő az atombomba és a hidrogénbomba energiamennyisége közötti.



4. ábra. A földrengésmérnöki ismeretek alapfogalmai



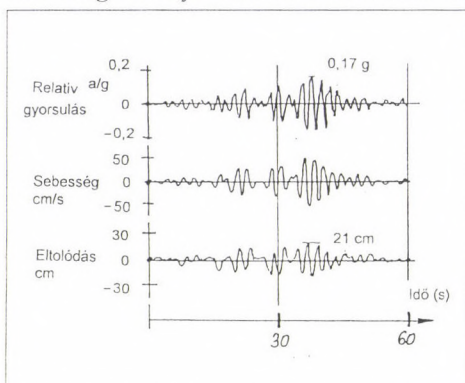
5. ábra. A különböző magnitúdók energiaszintjei

A földrengés hatásai

A földrengés a földkéregben hullámszerűen terjed, és a Föld kérgének felszínén rezgő-, illetve lengőmozgást hoz létre. Példaképpen tekintsük meg a 6. ábrán az 1985-ös mexikói földrengés egyik szeizmogram-csomagját, mely a felszínen 0,17 g maximális gyorsulást és 21 cm-es elmozdulást mutat. Megemlíthető, hogy e földrengés során körülbelül 300 darab 10-15 emeletes épület dőlt össze, és 18 000 ember halt meg. A súlyos károsodást az okozta, hogy Mexikóváros egy része vízzel telített,

gyenge, lágy talajon áll. Az ilyen talaj lefékezi a földrengési hullámokat, melyek kis helyen adják le az energiatartalmukat, és így felerősödik a rengés hatása. A 7. ábra mutatja a talajminőség hatását. A régi előírás a korábbi magyar földrengési méretezési ajánlás, míg a várható új az európai előírás gyorsulási értékeit mutatja. (Emlékeztetőül: a tömeg gyorsulással való szorzata az erő, és ez töri el az épületeket.)

A földrengések gyakorisága függ a helytől, a nagyobb rengések ritkábban lépnek fel. A 8. ábra mutatja néhány ország szeizmikus aktivitását, a Georisk



6. ábra. Az 1985. évi mexikói földrengés talajfelszíni szeizmogramjai

Kft. kutatásai alapján. Ebből látható, hogy a magyarországi szeizmikus aktivitás mintegy tízszerese az angliainak, és körülbelül az USA keleti része aktivitásának felel meg.

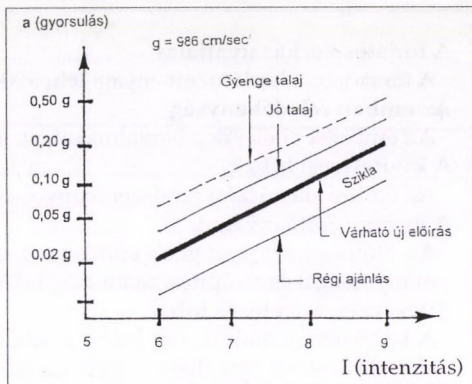
A fentiek után a földrengés okozta károk okait a 9. ábrán foglaltuk össze. Ezek megfontolandó gondolatokat tartalmaznak. A földrengés elleni védelem eszközeinek alkalmazása jelentősen képes csökkenteni a károkat (10. ábra). Így például az épületek gumitömbökre állítása a földrengési kár kockázatát az eredetinek ötödére (20%-ra) csökkenti.

A magyarországi földrengésvédelem helyzete

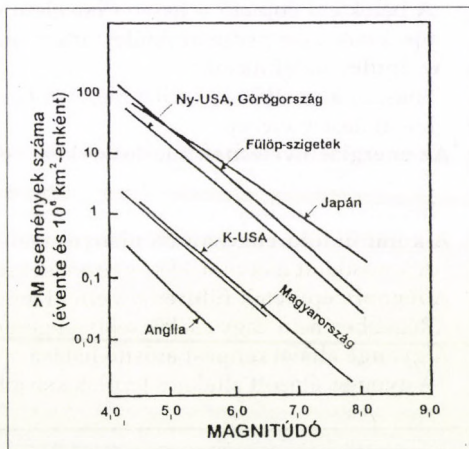
Hazánkban a panelos épületeket kötelező volt méretezni az akkori szinten elképzelt intenzitású földrengésre. Az intenzitási osztályokat a korábban kipattant földrengések értékelése alapján szabták meg (11. ábra).

Az egyéb épületekre nem volt kötelező előírás, csak egy ajánlás. Ezt akkor kellett alkalmazni, ha a beruházó kívánta. A beruházó pedig gyakorlatilag sohasem kívánta, mert ez az építési költség kismértékű növekedését jelentette volna. Ezért fordulhatott elő, hogy a paksi atomerőmű épületeit és berendezéseit gyakorlatilag nem méretezték földrengésre, és most kell erősíteni óriási költséggel, mert előírta az atombiztonság.

Időközben változott a földrengés elleni védekezés elve. Míg korábban a már kipattant földrengés képezte a méretezés alapját, addig ma már világszerte a geológiai adottságokból következő földrengéserősség adja a földrengés-méretezés alapját. Hogy ez mennyire helyes, azt jól mutatja az 1985. évi hazai berhidai rengés esete, mely olyan helyen pattant ki, ahol még sohasem volt földrengés, és az ott kipattant rengés mai árakon számítva mintegy 100 milliárd forint kárt okozott.



7. ábra. A talajminőség hatása a földrengési talajgyorsulásra



8. ábra. Több ország szeizmikus aktivitásának gyakorisága a magnitúdó függvényében

A tudatos kockázatvállalás

A társadalom korlátozott anyagi lehetőségei nem teszik lehetővé a teljes védelmet.

Az emberi felelősenység

Az emberek elfelejtik a borzalmakat, az új generáció pedig nem értesül azokról.

A kivitelezési hibák

Az építési ellenőrzési rendszer hiányosságai.

A gyenge építőanyagok

Az előírásoknál gyengébb építőanyag eltúrt alkalmazása, az ellenőrzési rendszer hiányosságai és az építési rendőrség hiánya.

A tervezés, méretezés hibái

A szerkezet-kialakításnál hibás modelltörvény alkalmazása, a duktilis energiaelnyelés túlzott figyelembevétele az előírásokban, valamint tehercsökkenés alkalmazása az ellenállás-növelés helyett a nemlineáris összefüggésben.

A tudatos nemtörődőmség

Pl. a magyar földrengés elleni előírás hiánya. Még a gyenge vagy hibás előírás is jobb, mint a semmi.

A piacgazdaság törvényszerűségei

A befektető építtető a haszon növelése érdekében az építési költség csökkentésére törekszik, nem pedig az épület tartósságára.

Az épület-átalakítások

Sokszor kibontják az épület merevítőfalait, pl. nagy terű földszinti üzletek utólagos kialakítása esetében.

Az energiaelnyelésnek a tartószerkezettel való biztosítása

Az energiaelnyelés közben a tartószerkezet súlyosan károsodik. Helyesebb külön beépített, cserélhető fékekkel biztosítani az energiaelnyelést.

A korábbi földrengéskárok hiányos javítása

A károsodott teherhordó szerkezeteket sokszor csak látszólagosan javítják ki.

A régebbi épületek földrengés elleni méretezésének hiánya

Régebben nem vagy csak kisebb rengéserősségre méretezték az épületeket.

A gyenge altalaj rengést erősítő hatása

A gyenge, átázott altalajos területeken jobb elkerülni az építkezést.

9. ábra. A földrengéskárok okai

Az új elképzeléseknek megfelelő földrengéserősségi térkép a 12. ábrán látható, melyen a gyorsulásértékek az európai szintnek felelnek meg. Ez az új térkép a megyehatárokat veszi alapul, és így nem fordulhat elő az a korábbi ajánlás szerint többször bekövetkezett helyzet, hogy az utca egyik oldalán nem kell méretezni a házakat földrengés ellen, míg a másik oldalon igen.

A Magyarországon máig kipattant 5 és 6 magnitúdójú rengéseket a 13. ábrán tüntették fel. Ez összhangban van a 12. ábra rengéserősségi térképével is. A térkép 4. zóna földrengéserősségét az országhatáron túl kipattant erős földrengéseknek a hazai területre gyakorolt hatása indokolja, hisz a földrengéshullám nem ismeri az országhatárokat. A hazai földrengés-gyakoriság 20 évenként 5-ös, 200 évenként pedig 6-os magnitúdójú földrengés előfordulását valószínűsíti.

A földrengésveszélyes területen való építés minimalizálása

A jó földrengés elleni előírások

Az épületmerevség és szilárdság együttes biztosítása

Ennek érdekében:

az egyszerű, földrengéssel szembeni épület-ellenállást növelő szerkesztési szabályok alkalmazása,
a jó alaprajzi kialakítások megkövetelése,
megfelelő merevítőfalak alkalmazása,
az előregyártott vasbeton-szerkezeti kapcsolatok korrekt és jó minőségű kialakítása,
a vasbeton oszlopok hosszvasalásának korlátozása és erős kengyelezés alkalmazása.

A kiegészítő szerkezeti rendszerek merevségi elválasztása a teherhordó rendszertől

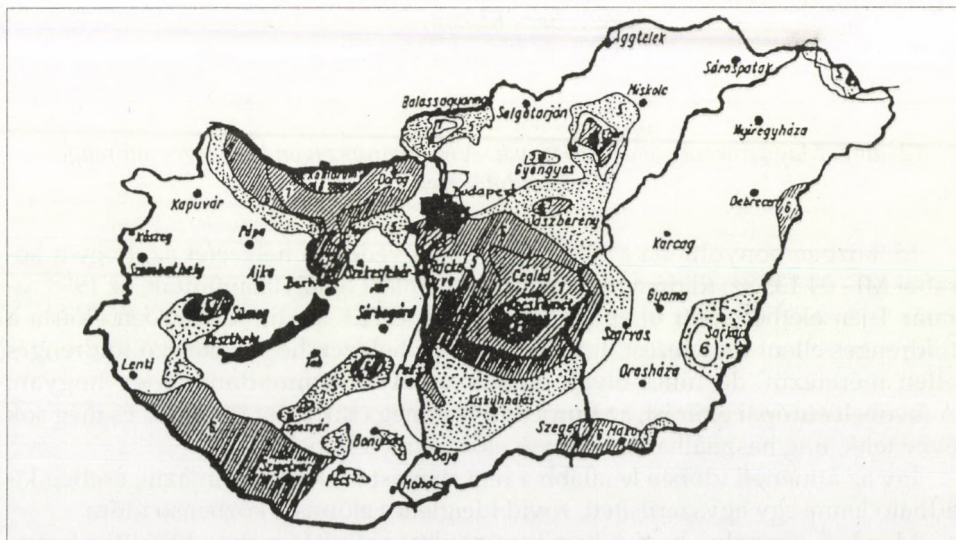
A rezgést csökkentő és elszigetelő rendszerek bevezetése

Rezgéscsökkentő aktív és passzív kontrollok (antivirátor)

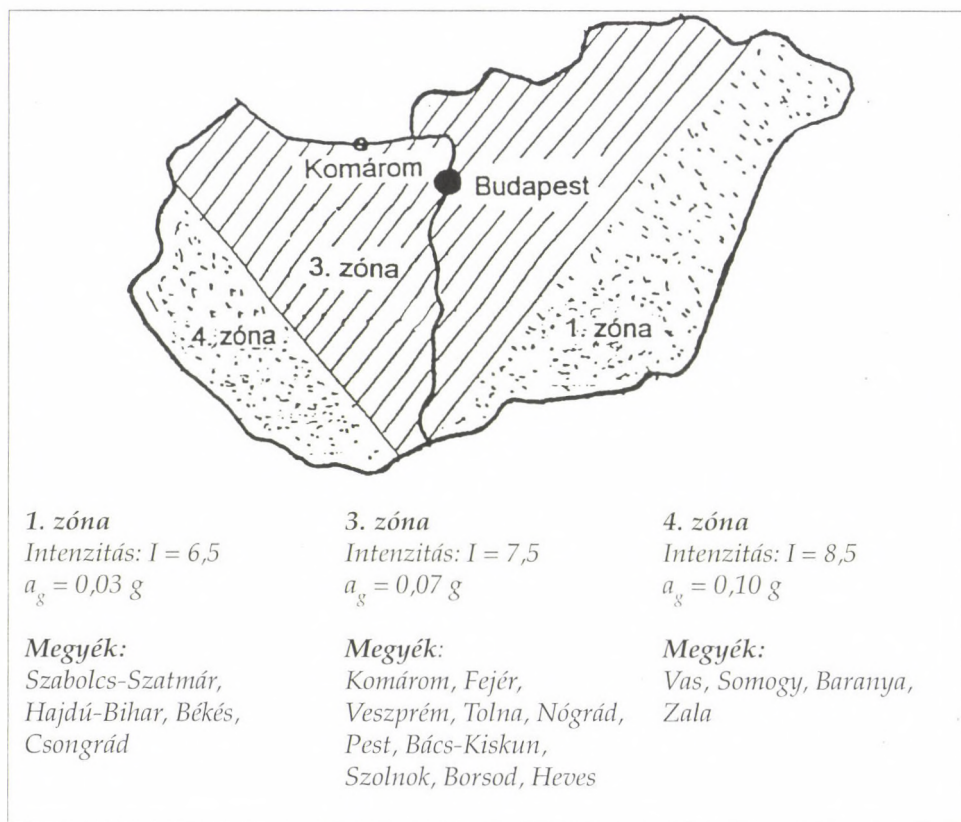
Energiaelnyelő, cserélhető fékrendszerek

Rezgésszigetelő gumitömbök alkalmazása

10. ábra. A földrengéskockázat csökkentési lehetőségei



11. ábra. A 455–1971 között Magyarországon kipattant $I \geq 5$ intenzitású földrengések térképe. (Készítette az MTA Geodéziai és Geofizikai Intézet Szeizmológiai Obszervatóriumában Csomor Dezső. Ez volt a korábbi ajánlás)



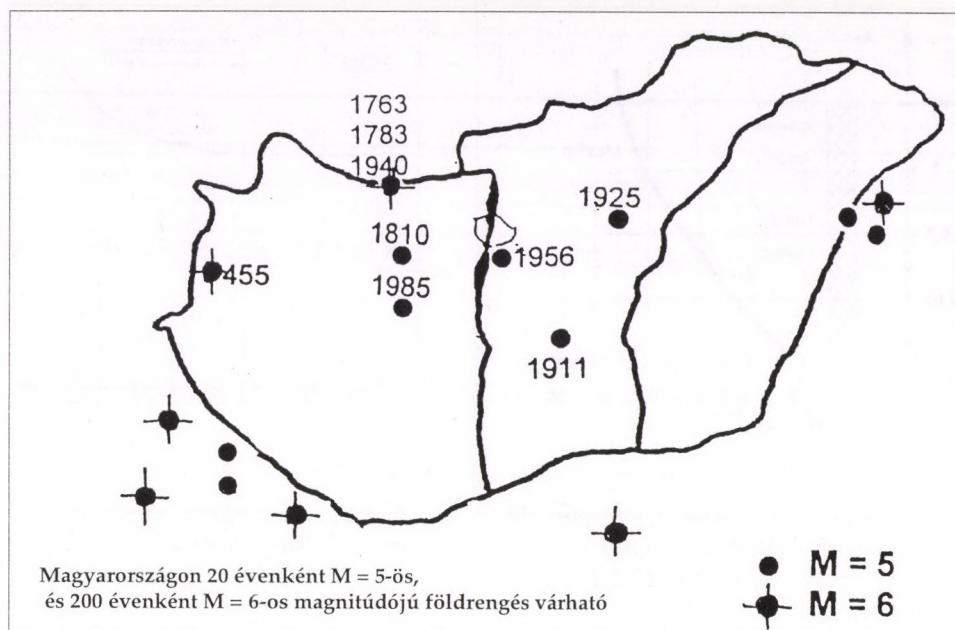
12. ábra. Magyarország földrengészónái. A Magyarországon lehetséges földrengés-előfordulás térképe

Időközben bonyolította a földrengés elleni védelem helyzetét az, hogy a korábbi MI - 04.133 sz. földrengés-méretezési ajánlást hatálytalanították, az 1998. január 1-jén életbe lépett új építési törvény és OTÉK pedig kötelezően előírta a földrengés elleni méretezést. Így jelenleg az a helyzet, hogy kötelező földrengés ellen méretezni, de nincs olyan előírás, amely megmondaná, hogy hogyan. A jövőbeli európai előírást, az Eurocode-8-at még csak most fordítják, és még sok évbe telik, míg használható, érvényes előírásunk lesz belőle.

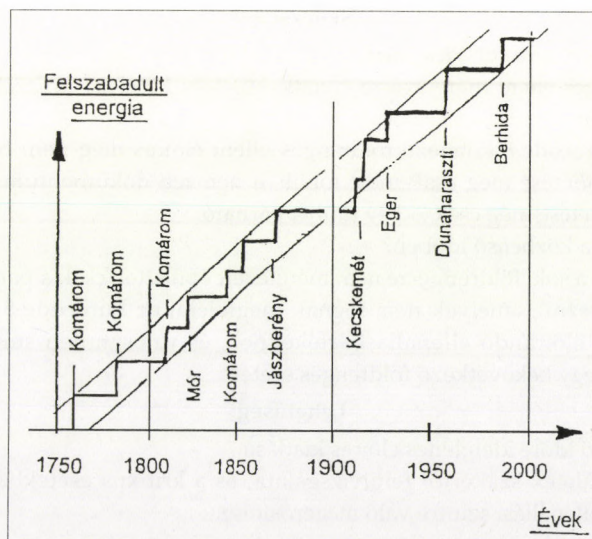
Így az átmeneti időben legalább a régi ajánlást kellene alkalmazni, esetleg kiadható lenne egy egyszerűsített, rövid ideiglenes előírás a közbenső időre.

Meg kell gondolni, hogy a hazai szeizmikus aktivitás meg se közelíti a legveszélyesebb zónák értékeit, de mintegy 10-szerese az angliainak, ahol azért nem hanyagolják el a földrengésvédelmet.

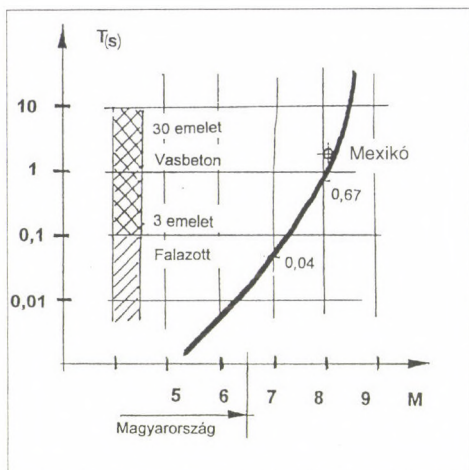
A földrengések pontos előrejelzése magától értetődően lehetetlen, de közelítő időbeli becslés lehetséges. Japánban a Hokkaidó-sziget minden földrengés előtt



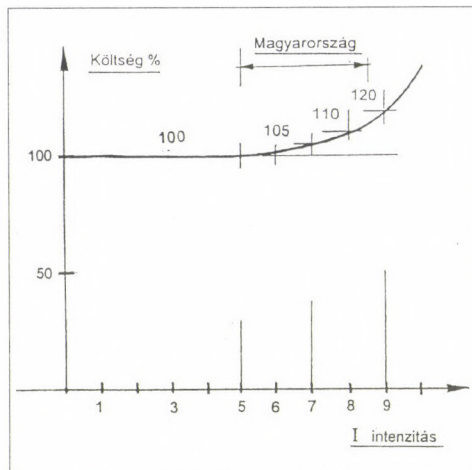
13. ábra. A Magyarországon és szomszédságában máig kipattant 5 és 6 magnitúdójú földrengések



14. ábra. A Benioff-féle energiakumulációs földrengés-előrejelzés Magyarország területére



15. ábra. A T periódusidő és a magnitúdó összefüggése összehasonlítva az épület-periódusidőkkel



16. ábra. A teherhordó szerkezet költségnövekedése az intenzitás szerint

Az új, 1998. január 1-jén életbe lépett építési törvény kötelezően előírta, hogy az építmények a megkívánt mértékben álljanak ellen a földrengési hatásoknak.

Nehézségek:

Nem tudni, mi a megkívánt érték, mert:

- A földrengés elleni méretezésre vonatkozó, nem kötelező műszaki irányelv már nem hatályos.
- Az új, Eurocode-8 kötelező földrengés elleni előírás még nem hatályos, mert a fordítás ellenőrzése még csak most folyik, a nemzeti dokumentum megjelenése és hatályba léptetése még csak 2-3 év múlva várható.
- Mi legyen a közbenső időben?
- Mi legyen a sok, földrengésre nem méretezett épülettel (csak a panelos épületeket kellett méretezni), amelyek nem fognak megfelelni az Eurocode-8 nemzeti dokumentumban előírandó ellenállási értékeknek, és valószínűen súlyos károsodást szenvednek egy bekövetkező földrengés esetén.

Lehetőség:

- A közbenső időre ideiglenes előírás kiadása.
- A régi épületek szakértői felülvizsgálata, és a kritikus esetekben legalább egy csökkentett ellenállási szintre való megerősítése.

17. ábra. A földrengés elleni védelem problémái Magyarországon

2 métert megnyúlik, és ezért hossz mérésrel tudják a közelgő földrengést előre becsülni. Egy másik eljárás a *Beniofftól* származó energiakumulációs módszer. Itt időtörténeti sorban kiszámítják a szeizmikus aktivitás energiáit, és így egy lépcsős diagramot nyernek. Ennek függőleges lépcsői jelzik a felszabadult földrengési energia mennyiségét, a vízszintes szakaszok pedig a nyugalmi időszakokat. A lépcső alsó és felső burkoló egyenese között helyezkedik el az aktív szakasz. Ha a vízszintes lépcső nyugalmi szakasza eléri az alsó korlátegyenest, akkor a közeljövőben földrengés várható. Ezt a lépcsős diagramot elkészítettük Magyarország területére, és e közelítő értékeket a 14. ábrán mutatjuk be. Ebből úgy tűnik, hogy mintegy 15–20 év múlva várható egy komolyabb földrengés.

Japán kutatók kidolgozták a világ nagy földrengéseinek közepes periódus-időt a magnitúdó függvényében. Ezt összehasonlítva az épületek közepes rezgési periódusidőivel, úgy tűnik, hogy a földrengési kockázat szempontjából a hazánkban gyakori falazott épületek a legveszélyeztetettebbek, mert ezek kerülhetnek rezonanciába a földrengéssel (15. ábra).

A 16. ábrán bemutattuk az épületek teherhordó szerkezeteinek közelítő építési-költség-növekedését, ha azokat a földrengésre méretezzük. Ez a hazai viszonyok között 5–10% költségnövekedést jelent. Tekintve, hogy a teherhordó szerkezetek költsége mintegy 20%-a a teljes épületköltségnek, a földrengésre való méretezés mintegy 1–2% többletet jelent az építési összköltségben. Ez csak mintegy ötödrésze az I. és II. osztályú parketta közötti árkülönbségnek.

A magyarországi földrengésvédelem problémáit a 17. ábrán foglaltuk össze. Ezek alapján felvetődik a kérdés, hogy szabad-e egyáltalán takarékoskodni a rengek elleni védelem elhagyásával. Jelentős gond az is, hogy mi legyen a nemzeti álláspont a sok megépült épülettel kapcsolatosan (például Budapest), amelyet egyáltalán nem méreteztek a földrengések ellen.

Gépészeti rendszerek kockázatai

A kockázat klasszikus megfogalmazása szerint egy kárral járó esemény kockázata az esemény bekövetkezése valószínűségének és az annak következtében fellépő kárnak a szorzata.

Kockázat = valószínűség x következmény.

Gépészeti rendszerek esetében károsodhat

- a gép, a gépészeti rendszer,
- az ember,
- a mikro-, mezo- és makrokörnyezet.

A károsodás időbeli alakulása szerint a kár vagy annak egy része azonnal bekövetkezik, de a károsodás legtöbbször halmozódó, időben végbemenő folyamat.

Egy vegyi üzem nyomástartó edényének robbanása következtében anyagi kár keletkezik magában a gépészeti szerkezetben, az épületben, de a javítás költségén túl megjelenik a termelés kiesés kára is összes következményével (pl. kötbér). Mechanikai sérülést szenvedhetnek a közelben lévő emberek. A kijutó vegyi anyagok is károsíthatják az embereket (mérgezés), de levegő-, víz- és talajszennyezést is okozhatnak, ami mezokörnyezeti hatásán túl mikrokörnyezeti hatást is kiválthat (pl. klórvegyületek).

Fosszilis tüzelőanyagok elégetése során keletkező égéstermékek – rövidebb vagy hosszabb távon – károsítják az embert (légúti megbetegedések, rák), de károsul a makro- és mezokörnyezet is (CO_2 , CO , NO_x , SO_3 , por stb.). A környezeti szennyezés miatt az embert az élelmiszer-szennyeződés is veszélyezteti. Gépészeti rendszereknél felléphet még nukleáris emisszió is.

További környezetszennyezési veszélyforrás a gyártás során keletkező veszélyes hulladék (galvániszap, oldószerek, fáradt olaj stb.), valamint a tönkrement, szemétbe kerülő eszközök, gépek, anyagok stb. A gépészeti rendszerek újrahasznosítása és megsemmisítése is kockázattal jár, mivel mindkettőnek van energiaigénye és káros emissziója is. A gépészeti rendszerek (járművek, technológiai gépek) ezenfelül zaj-, rezgés- és fényszennyezést is okoznak, amelyek az embert és az épített környezetet egyaránt károsítják.

A gépészeti rendszerek anyagiakban jelentkező kára viszonylag könnyen felmérhető, de az ember és a természeti környezet károsodását pénzben nagyon nehéz kifejezni.

Ebből a rendkívül összetett kockázati rendszerből a továbbiakban csak a szerkezeti károsodások kockázatával foglalkozunk.

A gépészeti rendszerek meghibásodása a következők miatt elkerülhetetlen:

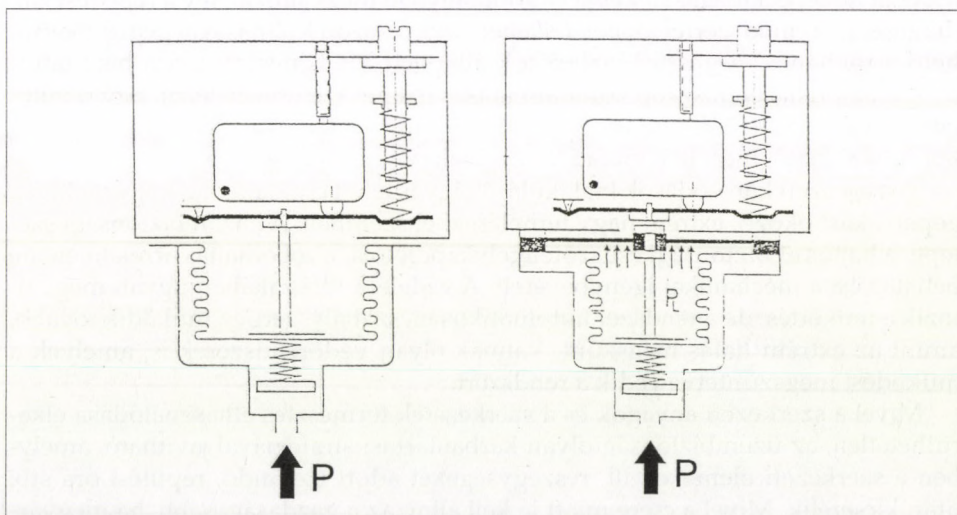
- Az anyagok tulajdonságai időben változnak (öregedés, ridegedés, diffúzió stb.).
- A szerkezeti anyag károsodik (repedésterjedés, kúszás stb.).
- A határfelületeken és főleg a szerkezeti kapcsolatokban fellépő korrózió, valamint a kopás miatt irreverzibilisen megváltoznak a geometriai jellemzők (a méret és a felszín).
- A szerkezeti anyagok tulajdonságainak, a legyártott elemek geometriai jellemzőinek szórása van. Van rejtett anyaghiba is. A gép tulajdonságai csak valószínűségi változóként írhatók le.
- Tudásunk véges, ezért a méretezési eljárások megbízhatósága korlátozott, annak ellenére, hogy a CAD fejlődése következtében a szerkezetek állapotát, viselkedését egyre pontosabban fel tudjuk tárni.
- Hagyományos gyártmányoknál a piac nem engedi meg, hogy igen nagy költségráfordítással küszöböljük ki a károsodásokat. A gyártmány versenyképessége, az önköltség leszorítása nem engedi meg a túlméretezést. A megbízhatóságnak, a szerkezeti kockázatnak van gazdasági optimuma.
- Vannak olyan, ritkán fellépő külső hatások, amelyeket tudatosan nem veszünk számításba a méretezéskor (vihar, földrengés erőssége egy határon túl).
- Több véletlenszerű, kedvezőtlen körülmény egybeesésére sem szoktak méretezni.
- Vannak olyan terhelési szituációk, amelyre a konstruktőr nem gondol, ugyanis a következményes károk elemzésekor nagy rendszereknél kibernetikai robbanás lép fel.
- Az ember gyarló, hibázik, és különböző okok, kényszerek hatására néha felelőtlenül vállal meg nem engedhető kockázatot. A homo ludens-magatartás is kockázati tényező.

A szerkezeti hibák megelőzése

A fellépő hibák jó része megelőzhető a tervezés, a gyártás és az üzemeltetés folyamán. Konstruktíós intézkedésekkel egy megkívánt időszakra elérhető a *biztos túlélés* (*safe life*). Ennek feltétele a magas színvonalú tervezés, korszerű anyagok és technológiák alkalmazása és a *teljes körű minőségbiztosítás*, amelynek keretében az anyaghibát és a technológiai hibákat minden darabnál szigorúan ellenőrzik, a selejtet kiküszöbölik, a részegységeket és a kész termékeket tesztelik stb.

A szerkezeti rendszer felépítésétől függ, hogy mennyire érzékeny a külső hatásokra, és milyen biztonsággal tartja fenn az üzemet az esetleges meghibásodások fellépésekor is. Redundáns elrendezéssel elérhető, hogy a kieső egység szerepét automatikusan átveszi egy másik elem (aktív redundancia), vagy bekapcsolható a tartalék egység (passzív redundancia). A Boeing repülőgépeken az irányító informatikai rendszert megkettőzve építik ki, és mindkét rendszer működőképességét folyamatosan ellenőrzik.

Egy géprendszer kockázata lényegesen csökkenthető a monitoring (állapotfigyelés) és a diagnosztika (hibafeltárás, állapotvizsgálat) segítségével. A drótkötél zseniális redundáns elem, mert a nagyszámú, párhuzamosan dolgozó elemi szál nem egyszerre szakad, hanem a kezdődő törések hatására a kötélt „kiszőrösödik”, jelezve, hogy cseréje szükséges, mert elhasználódott. A cseréig viszont betölti funkcióját. A hiba észlelésére és a hibás elem funkciójának átvételére jó példa az 1. ábrán lévő nyomáshatároló, amelynek hagyományos kivitelében a csőmembrán átszakadásakor a szerkezet működésképtelenné válik. A továbbfejlesztett változatban lévő síkmembrán rövid időre átveszi a csőmembrán funkcióját, ha az kilyukadt. A síkmembrán deformációja – esetleg érzékelőt beiktatva – jelzi a csőmembrán hibáját, a szerkezet nem omlik össze, a működőképesség korlátozottan fennmarad. A húzott hengeres rugó törése esetén a működőképesség azonnal



1. ábra

megszűnik, nyomott hengeres csavarrugó törésekor a rugó egy menetet „leül”, és korlátozott módon tovább működik. Repülőgépmotorokat felfogó „vérző” csavarokból kijut a piros festék, ha a csavar megrepedt. A hiba karbantartáskor, átvizsgáláskor észrevehető. Katastrófa nem lesz, mert korlátozottan a megrepedt csavar is funkcionál, és a csavarkötésben több csavar van. A „háromból kettő”

módszer alkalmazásakor három érzékelő jelét hasonlítják össze. Ha mindhárom megegyezik, vagy kettő megegyezik, a gépet nem kell az érzékelőrendszer hibája miatt leállítani, de az utóbbi esetben kiderül, hogy az egyik érzékelő jele rossz volt. Ez a módszer sok felesleges leállást kizár.

A károsodás korai stádiumban való felismerését szolgáló diagnosztikai módszerek képesek időben feltárni a fáradási jelenségeket, repedéseket és kopásokat. A repedések nem csak a hagyományos repedésvizsgálati módszerekkel mutathatók ki. Egy repülőgép-hajtómű zajképét a fedélzeti számítógép tárolja. Felszállás előtti próbánál a felvett zajképet összehasonlítják a tárolttal, és ha valamelyik frekvenciacsúcs elhangolódott, ez azt jelenti, hogy az ahhoz tartozó alkatrészen repedés alakult ki. Így a számítógép megadja, hogy egy tengely, csapágy vagy egy turbinalapát stb. hibás-e. A zaj- és rezgésvizsgálatok repedéseket, gördülőcsapágyak futófelületi kifáradását, fogaskerek fogfelületének gödrösödését, kopását is kimutatják. A forgórész instabilitását a tengely mozgását feltáró két induktív adó együttes jele mutatja. Ez csapágyhibára vagy kiegyensúlyozatlanságra utalhat. A csapágyakon elhelyezett hőmérsékletőrök mutatják a melegeledést, ami kezdődő károsodásra utal. A kenőolajban lévő kopadék is detektálható. Ennek a növekedése progresszív kopást jelez. Az erőművek gőzkazánjának gőzcsöveiben fellépő repedés esetén a gőz a repedésen keresztül hangsebességgel áramlik ki, és a kazán zajképe a magas frekvenciatarományban megváltozik. Így a repedést zajdiagnosztikai módszerrel időben fel lehet tárni, a kazán leállításával pedig elkerülhető a robbanás. A gázturbinalapátok állapotát kis kémlelőfuraton bejuttatott üvegszál-optikás endoszkóp körbeforgatásával lehet szemrevételezni. Egy repülőgép gázturbinás hajtóműve a megengedett üzemóra után erőműben csúcsterheléskor használható, mert itt a maradék megbízhatósága is elegendő.

A szerkezeti károsodások kialakulását úgy is lehet csökkenteni, hogy védjük a gépet a kárt okozó, extrém nagy terhelésekkel szemben. A kazán biztonsági szelepe, a hajtómű biztonsági csúszótengelykapcsolója, a robothajtás arretáló eleme behatárolja a mechanikai igénybevételt. A védelem időszakában ugyan megváltozik a működés, de a rendszer automatikusan, szabályszerűen működik tovább, amint az extrém hatás megszűnt. Vannak olyan védőrendszerek is, amelyek a működést megszüntetve védik a rendszert.

Mivel a szerkezeti anyagok és a szerkezetek természetes elhasználódása elkerülhetetlen, az üzembiztonság olyan karbantartási stratégiával javítható, amelyben a szerkezeti elemeket, ill. részegységeket adott üzemidő, repülési óra stb. után kicserélik. Mivel a csere miatt le kell állni, az a gazdaságosabb, ha megvárják az első meghibásodást, és akkor cserélik együtt az összes hasonló elemet. A javításnak is van kockázata, mert a szerelés sérüléssel járhat, és a beépített alkatrész hibás is lehet.

A repülés mai biztonsági szintje elképzelhetetlen a legkorszerűbb tervezési módszerek, a szuperanyagok, a szigorú minőségbiztosítás, a redundancia tudatos alkalmazása, a folyamatos állapotfelügyelet, a rendszeres állapotvizsgálat, az időszakos felülvizsgálatok és az optimális karbantartási stratégia nélkül.

Személygépkocsiknál ma már 100–200 000 futáskilométer, egyes részegységekre 500 000 km a garancia. Az 1-2 éves általános garanciák egyes esetekben 10, sőt 15 évre emelkedtek. Ezek teljesítése azért lehetséges, mert a többmilliós darabszámban gyártott gépkocsik már kicsiszolt szerkezetek, hordozzák az autógyárak több évtizedes tapasztalatát és az utolsó típusok több százezer példányának szervíztapasztalatát. Az autóiparban lévő nagy pénz lehetővé teszi, hogy a legkorszerűbb tervezési módszereket, a szimulációs eljárásokat, az 1:1 kísérleteket, ütközési próbákat stb. felhasználják a gyenge pontok javítására, az új megoldások kockázatának csökkentésére. A szuperanyagok, új felületkezelési eljárások, új kenőanyagok lehetővé teszik, hogy a rudazatok csuklóit több százezer futáskilométer alatt sem kell kenni, a karbantartási igény hallatlanul lecsökkent. A szervízmunka gyakorlatilag csak olajcserét és ellenőrzést jelent. A fizetőképes kereslet a piacon honorálja ezeket a kényelmi és biztonsági tulajdonságokat.

A kockázat mai értelmezése (ISO 9001, ISO 9002)

Az FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) mai értelmezésében a kockázati index (Risiko Prioritätszahl), az RPZ (vagy RPN) nem két, hanem három tényező szorzata, s ennek számértékétől függ a meghozandó intézkedés [1],

$$RPZ = O \times S \times D,$$

ahol O a hibaarány, S a hiba jelentősége, D a hiba felfedésének valószínűsége. Értékük egyaránt 1–10 közötti egész szám, definíció szerint.

Ha $RPZ < 100$, akkor a kockázat tűrhető, intézkedés nem szükséges, ha $RPZ > 120$, a kockázat nem viselhető el. A két határ között mérlegelés dönti el, kell-e intézkedés. Ha statisztikai folyamatszabályozás (SPC) van, akkor O értékéhez további kritérium a c_p folyamatképeségi mutató. Ebben az értékelésben a hiba jelentőségénél nincs szétválasztva az, hogy a kockázat gépre, emberre vagy a környezetre vonatkozik-e.

A biztonsághelyes konstrukció szintjei

A DIN 3100 (Drei Stufen Theorie: vermeiden, sichern, warnen) három biztonsági szintet különböztet meg:

- közvetlen biztonság,
- közvetett biztonság,
- indikatív biztonság.

Közvetlen biztonság esetében a rendszer a kockázatot elkerüli, a zavart megakadályozza. Ennek három eleme van:

- Biztos túlélés (safe life): egy adott üzemidő alatt a működés biztosított.
- Korlátozott meghibásodás (fail safe): nem zárja ki a működési zavart, de biztosítja, hogy ennek ne legyen komoly következménye. Meghibásodás esetén a működőképesség fennmarad, legfeljebb a működési minőség gyengébb.

- *Redundáns elrendezés:* ha egy elem vagy részegység meghibásodik, funkcióját egy redundáns elem veszi át. Redundánsan működhet maga a meghibásodott elem is.

Közvetett biztonságra akkor törekszünk, ha a konstrukciónál a közvetlen biztonság nem érhető el. A védő, biztosító elemek a gépet biztonságba helyezik, zavar hatása ellen védik. Ennek elemei:

- *Biztonsági rendszer:* csak védelmi funkciót teljesít, ha a közvetlen biztonságtechnikai intézkedés hatástalan lenne (biztonsági szelep, erőhatároló, nyomatékhatároló elemek stb.).
- *Védőberendezések:* a gépet kimentik a vészhelyzetből, kikapcsolják, korlátozzák az anyag- és energiaáramot. A védőberendezés a biztonsági rendszer hibája esetén is kikapcsolja a rendszert azzal a tárolt energiával, amit a zavar szabadít fel.

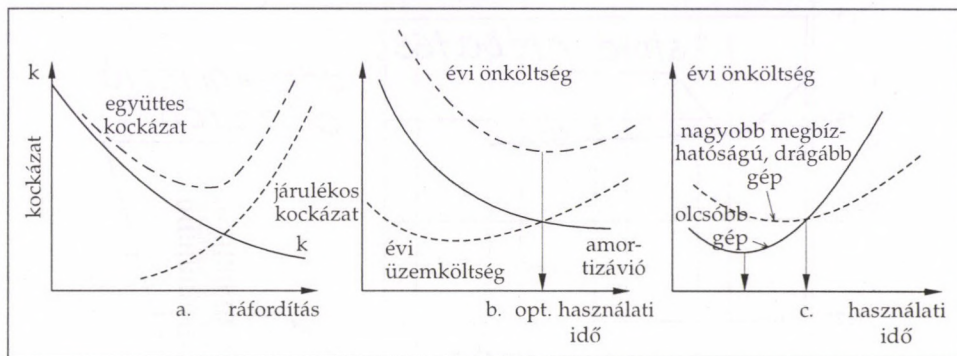
Az indikatív biztonság a harmadik, legalsó szint, amelyet akkor alkalmazunk, ha sem a közvetlen, sem a közvetett biztonság nem érhető el. Figyelmeztet, rámutat a veszélyre, de azt nem hárítja el. A figyelmeztető jelzés a kezelőszemélyzetnek szól, hogy hárítsa el a vészhelyzetet.

Egy gépészeti rendszerben a biztonság mindhárom szintjének elemei akár együttesen is megjelenhetnek.

A kockázat gazdasági optimuma

A gép biztonságára, megbízhatóságára a piac keskeny mezsgyét hagy a konstrukciónak. Túlméretezéssel a biztonság ugyan növelhető, de a nagyobb súly, nagyobb méret és nagyobb önköltség biztos bukásra vezet, mert a termék eladhatatlan lesz, bár műszakilag jó. Nagyobb kockázatvállalással a méretek és költségek csökkenthetők ugyan, de a meghibásodások növekedése miatt a garanciális kötelezettségek elviselhetetlenné válhatnak, miközben elvész a cég hírneve is. Ez is biztos bukás. E két határ között értelmezhető egy optimális kockázatvállalás, amit *kizárólag* gazdasági tényezők határoznak meg. Egy példa erre a fosszilis tüzelőanyagú erőművek kazánja. A gőz felső hőmérsékletét a kazánfal anyagának hőmérséklettől függő tartamszilárdsága szabja meg. Ha az élettartam kicsi, gyakran kell a kazánt felújítani, amikor is az átépítési költség mellett a kieső energia elmaradt haszna is a veszteségszám növeli. Lehetne alacsonyabb csúcshőmérsékleten üzemeltetni a kazánt, ekkor megbízhatósága nagyobb lenne, viszont a termikus hatásfok romlása miatt csökkenne a teljesítmény, ugyanakkor növekedne a villamos energia fajlagos ára. Az utóbbi évtizedben megjelent japán erőművi szuperanyagok alkalmazása hosszabb üzemidőre kizárná az igen nagy költségekkel járó meghibásodásokat a régi csúcshőmérsékleten, de nem ez történik. Néhány °C-kal tovább növelik a felső hőmérsékletet, mert a hatásfokjavulás olyan nagy gazdasági eredményt hoz, hogy a 2-4 évenként esedékes felújítással együtt ez adja a *gazdasági optimumot*. A gépészeti rendszerekben nem a kockázatnak minden határon túli csökkentésére, hanem a gazdaságos kockázat

meghatározására és ennek elérésére törekednek. Személyszállító repülőgépek biztonsága is növelhető lenne az önsúly növelésével, de az utasszám csökkenése miatt a repülőtársaságok nem vállalják ezt a veszteséget. A kockázatot csökkentő kiegészítő rendszerek járulékos kockázatot hoznak magukkal [2]. A társadalmi kockázat nem csökkenthető egy határ alá, de ez a határ időben változik (2/a ábra). Az amortizációs költség és az üzemeltetés, javítás összköltsége megadja egy rendszer optimális használati idejét (2/b ábra.). Az önköltség minimumához tartozó használati idő nagyobb megbízhatóságú rendszernél hosszabb (2/c ábra).



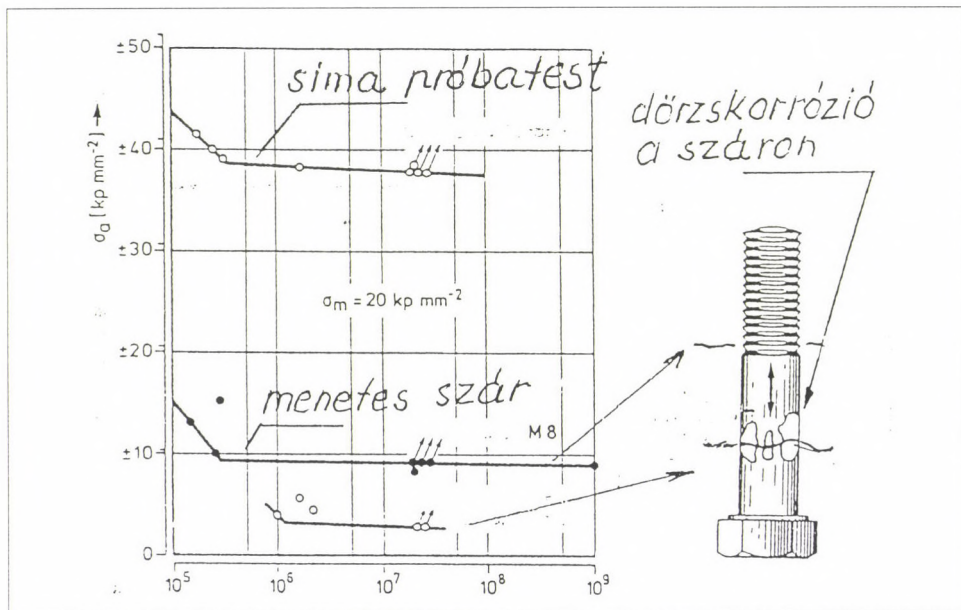
2. ábra

A gépszerkezetek gyenge pontjai

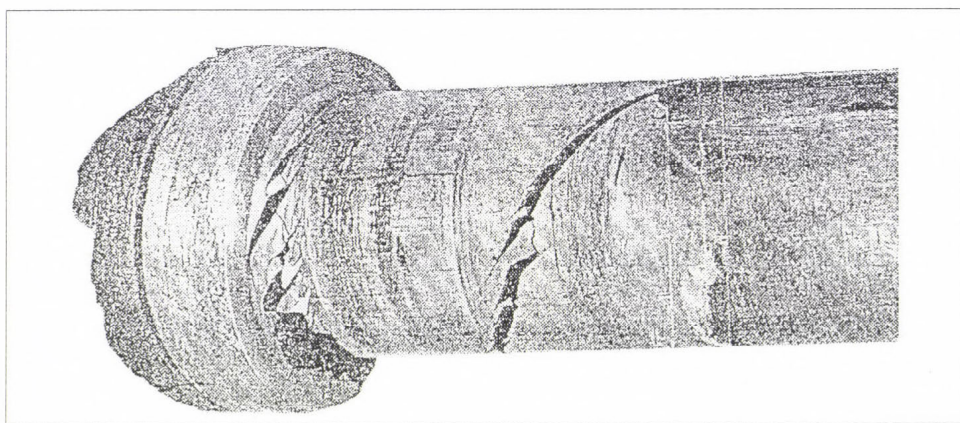
A gépekben a legtöbb meghibásodás elsődleges oka a törés és a tribológiai károsodások, a tribológiai eredetű működési zavarok. Az állapot-analízis korszerű szoftvereivel már személyi számítógépekkel is feltárható a terhelésmo- dell és a törés szempontjából fontos feszültségi, alakváltozási állapot, akár nemlineáris anyagú alkatrészekre is. Ez a méretezés biztonságát növeli. Vannak szívós, nagy szilárdságú anyagaink, amelyek alkalmazása ugyancsak csökkenti a törési veszélyt. A polimerek, polimerkompozitok, a kerámiák, a PVD-, ill. CVD-bevonatok és a korszerű kenőanyagok sok esetben kiváló tribológiai viselkedést biztosítanak. Javul a gördülőcsapágyak anyagminősége, pontossága és geometriája, ezzel növekszik az élettartamuk, ami különösen akkor jelentős, ha biztosítani tudjuk, hogy a kenőanyagban ne legyen szennyeződés.

Mindezek ellenére maradtak „gyenge pontok” a gépszerkezetekben. A szerkezeti kötésekben több test kölcsönhatását még ma sem egyszerű modellezni, mert a rugalmas alakváltozások okozta mikromozgásokat gátolja a bizonytalan súrlódási erő, azt ugyanis a kontinuum-hullámok folyamatosan leoldják. A terhelt felületepár mikromozgásában dörzsoxidáció (illesztési rozsdá) jön létre, ami drasztikusan csökkenti a fáradási szilárdságot. A probléma kezelését nehezíti, hogy a kötésnél halmozódik az alkatrészek túrésának szóródása, a kezdeti felüle-

ti érdekesség jórészt lesimul, de a kopadék abrazív hatása is megjelenik. A kötésben lévő testek sztochasztikus szabálytalanságokkal terheltek, ami azt jelenti, hogy a keresett válaszállapot valószínűségi változó. A legnagyobb gondot a tribológiai kísérőjelenségek, a súrlódás és a kopás okozzák akkor is, ha a kötés elemei globális relatív nyugalomban vannak. A 3. ábra egy illesztett csavar fáradási szilárdságának drasztikus csökkenését mutatja. A 4. ábrán egy tengely látható, ahol a repedések az illesztési felület zónájából, ill. a feszültséggyűjtő hatású tengely-

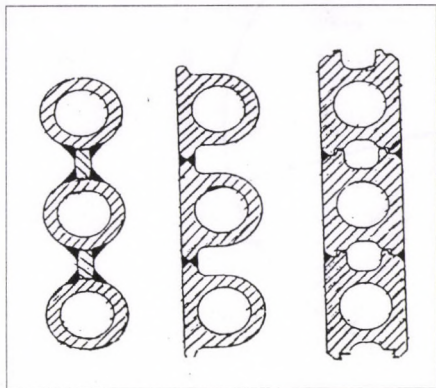


3. ábra



4. ábra

vállátmenetből indulnak ki. A hirtelen keresztmetszet-változás feszültséggyűjtő hatása az együttműködés miatt a kötésekben is megjelenik. Ezen okok miatt a kötések környezetében igen nagy a törési veszély. Ezért a feszültséggyűjtő hatások és a kötések illeszkedő felületei a gépszerkezetek elsődleges gyenge pontjai.



5. ábra

További gyenge pont a hegesztett kötés, különösen akkor, ha a kialakítás szoborszerű, és sok varrat torlódik. A varrat hőhatásövezetében nagyobb a korróziós veszély is, mert a szövetszerkezet nem homogén. A 5. ábrán a kazánmembránfal régi és két újabb kialakítása látható. A legutolsó kialakításhoz kell a legkevesebb heganyag, ez korrózió szempontjából is a legkedvezőbb. A gömbcsap újszerű kialakításának köszönhető a jobb tömítőhatás és a nagyobb élettartam. A homloklaptömítés újszerű elve ugyancsak tökéletesebb tömítést és nagyobb élettartamot eredményezett. A gyenge pontok nemcsak méretezéssel vagy jobb anyagok haszná-

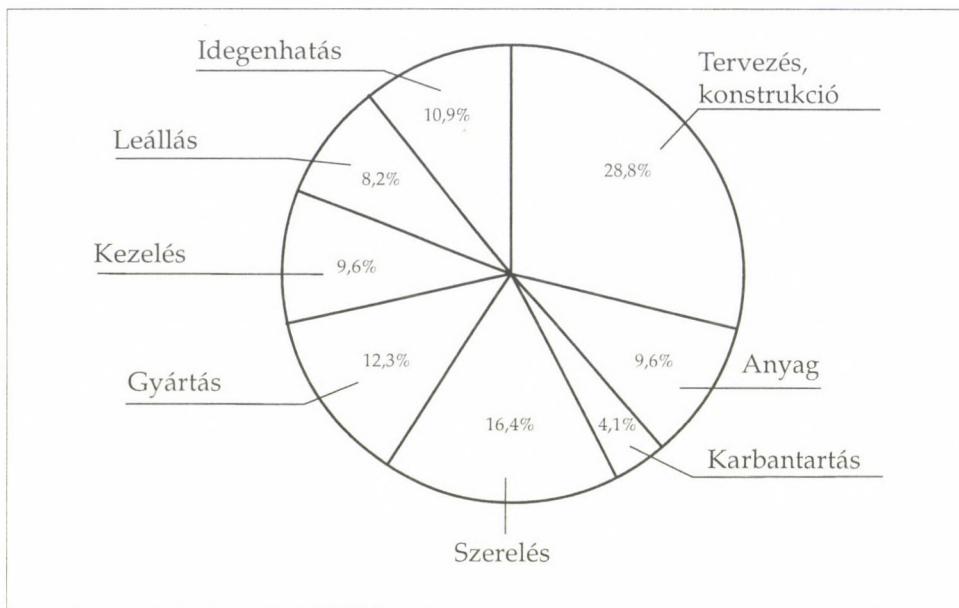
tával, hanem újszerű szerkezeti kialakítással is javíthatók. A nagy fordulatszámú turbinák és turbóhajtóművek gyenge pontjai a siklócsapágyak és a fogaskerek, a gázturbinák gyenge pontja pedig a turbinalapát.

A károk és károk megoszlása gépészeti rendszerekben

Az Allianz Biztosítótársaság több évtizedes statisztikájának eredményét mutatja a 6. ábra, amelyen a 100 000 DM feletti károk megoszlását adja meg a kár forrása szerint. A termékhiba 67%, az üzemeltetés hibája és a külső hatások okozta hiba együttesen 33%. A tervezés és a konstrukció hibájának a részaránya a legnagyobb, 29%. Váratlanul nagy a szerelésből és a hosszabb üzemszünetet követő újraindításból adódó kockázat. Egy másik felmérés szerint 30 000 előre nem látható gépkárosodás vizsgálata azt mutatta, hogy termékhibából eredt a károk 2/3-a, míg 1/3-a az üzemeltetéssel függött össze. Ez jó egyezést mutat a nagy károk kapcsán történt felméréssel. A termékhiba okozta kár kb. felerészben vezethető vissza a tervezésre, fele részben az anyaghibára, a gyártásra és a szerelésre.

Az ember szerepe a kockázatok kialakulásában

Nyilvánvaló, hogy az ember mindvégig jelen van a tervezés és a gyártás teljes folyamatában. A következő néhány példában más-más típusú emberi hibákra, több esetben a kellő felelősségérzet hiányára mutatok rá.



6. ábra

A Challenger tragédiájának az volt előzménye, hogy a meghibásodott tömítés veszélyére a gyártómű mérnöke többször is felhívta a figyelmet, legutoljára az indítás előtti napon. Kérte a start elhalasztását, de a program irányítója a siker mindenáron való hajszolása érdekében ezt nem vette figyelembe. Az eredményt ismerjük, a siker elmaradt.

Több komphajó tragédiáját okozta, hogy az ajtószerkezet nem volt zárva vagy kinyílt. A belga komphajó kapitánya többször kérte a társaságtól: szereljenek a zárra egy visszajelzőt, hogy a kapitány láthassa indulás előtt, az ajtó zárva van-e. Ezt a társaság anyagi okokra (?) hivatkozva megtagadta. A komphajó még a kikötőben elsüllyedt, a katasztrófa súlyos emberi áldozatokat is követelt. Olcsóbb lett volna a biztonságtechnikai rendszer beépítése. A súlyos katasztrófa oka a nyereség minden határon túli hajszolása volt. A hajóskapitány utólag bevallotta: kérelmének elutasításakor gondolt arra, hogy megtagadja a hajó vezetését. Ekkor azonban elbocsátják, és állás nélkül marad. Ezért vállalta el az el nem fogadható kockázatot. Egy hasonló esetben többen úgy gondolták, hogy majd valaki más fogja az ajtót bezárni. Senki nem zárta be, és indulás előtt ezt senki nem ellenőrizte. Ez a komphajó is elsüllyedt.

Egy súlyos repülőtéri katasztrófa azért járt különösen nagy áldozattal, mert a védelmi rendszer szoftvere logikai hibát tartalmazott. A terrorizmus ellen bevezetett beléptetőkártyás rendszernél az ajtózárat hálózatról működtették. Amikor a füstjelző tüzet jelzett, az automatika lekapcsolta a hálózati feszültséget, és ezzel bezárta a tűzoltókat és a tűzoltó kocsikat. Nem sokkal a katasztrófa előtt

vizsgálták át a biztonsági és védelmi rendszert. Megállapították, hogy minden tökéletesen működik.

Egy személygépkocsi gyári lopásgátló rendszere menet közben meghibásodott, és a kocsí motorja előzés közben leállt. Véletlen szerencse, hogy a karambolt el lehetett kerülni.

Bár nem tudjuk bizonyosan, hogy mi történt Csernobilban, de a hivatalos magyarázat szerint a kezelőszemélyzet felelőtlensége indította el a katasztrófát.

A példák azt mutatják, hogy az emberi felelőtlenség, a becsvágy vagy a haszonszerzés súlyos következményekre vezethet. Az automatikus rendszerek ugyan az esetek túlnyomó részében kiválóan működnek, de néha újabb súlyos kockázatot is jelenthetnek. A tandíjat az utóbbi két évtizedben kezdtük fizetni.

Áttekintve a gépészeti rendszerek kockázatát, a Lufthansa vizsgálatának megállapításával összhangban kijelenthetjük, hogy a *legnagyobb kockázati tényező maga az ember*.

Irodalom

1. Gutassy Attila: Az QS 9000 előíráshoz tartozó speciális résztechnika, az FMEA alkalmazása I. GÉP., 1997. 4.
2. Vajda György: *Kockázat és biztonság*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.

MÁLYUSZ KÁROLY, TUSNÁDY GÁBOR

A kockázatok matematikai kezelése

Dolgozatunk célja összegyűjteni minden esetet, ahol a véletlennek valamilyen szerepe lehet. Gyerekesnek tűnhet ez, védekezésül csak azt hozzuk fel, hogy sokak szerint a valószínűség-számítás alapfogalmai nem jók. Lehet. Mi mindenesetre megpróbáljuk szélesre tární a kaput. Mint minden, ami él, a véletlen is néha hasznos, néha káros. Jellemző lehet szembeállítani ezeket az eseteket és megmutatni mögöttük a két ellentétes folyamat összefonódását: a rend apró hiányosságából kialakuló (esetleg magasabb szintű) struktúrákat és a káosz mélyén rejtőzködő törvényt.

Általános értelemben kockázatnak nevezünk mindent, ami nem teljes információjú döntéssel kapcsolatos. A kockázat kezelésének különböző módszerei vannak, ezek valamilyen értelemben mind redukálják a helyzet bizonytalanságát. A redukció egyik módszere tulajdonképpen nem csökkenti a lehetőségek számát, csupán rangsorolja azokat annak függvényében, hogy milyen mértékben számíthatunk a bekövetkezésükre. Ez általában a sztochasztika, közelebbről a valószínűség-számítás eszközeinek az alkalmazásával válik lehetségessé.

Egy kis filozófia

Az európai gondolkodás apollói jellegű: szereti a fényt, kerüli a homályt, elutasítja a tudatlanságot. Csak korlátok mögül szeret a szakadékokba kukucskálni, borzongani olyan veszélyektől, amelyektől védve tudhatja magát. Önnön tudatunk korlátait önnön tudatunkkal kimérni nehéz küzdelmekben kellett megtanulnunk, ha egyáltalán megtanultuk. Ebben a folyamatban a matematikának mindig kettős funkciója volt. Bizonyosabbnak kellett lennie minden más tudománynál, és amilyen mértékben körvonalazódtak korlátaink, olyan mértékben vált szükségessé ezek számokkal törtéző jellemzése. A valószínűség-számítás eszközeinek alkalmazása képes csökkenteni a véletlen káros hatásait, de ezen túlmenően fontos a sztochasztikának az a szerepe, hogy pontosan meghatározza a bizonytalanság

mértékét. Ha jól működik, olyan, mint az orvos: segít, ahol tud, de ahol nem segíthet, ott kötelességének tartja tevékenységének korlátait világosan kijelölni.

Továtűnő századunk bőségesen szolgáltat példát olyan felfedezésekre, amelyek mind azt bizonyítják, hogy valamit nagyon sokáig rosszul tudtunk. A radioaktivitás, a tömeg és energia egymásba alakulása száz év alatt váratlan felfedezésből utcai közhellyé vált. Meg lehet-e most mondani, száz év múlva milyen eredmények veszik át a helyüket? Csak azt a világot ismerhetjük meg, amit kézbe vettünk, és ami ezért magán viseli kezünk nyomát. Mit csinál a világ, amikor nincs a kezünkben? Nem vagyunk fizikusok, meg nem tudnánk mondani, meg lehet-e határozni. Divat a misztika minden ága, és divat ennek mindenfajta elutasítása. 1908 táján Freud és Jung ígéretesen induló együttműködése azért vált kibékíthetetlen ellenségeskedéssé, mert fénylő öntudatunk homályba vesző határait nem ugyanott vonták meg, és nem tudtak megegyezni abban, mit kell mondaniuk a laikusoknak arról, mit gondoljanak a laikusok arról, amiről egyáltalán semmit se tudhatnak még a beavatottak sem.

Gödel eldönthetelenségi tétele

A *Bolyaiak* révén a plátói axiomatikus gondolkodás nemzeti sajátosságunknak mondható. Minden axiómarendszerben megfogalmazható olyan kérdés, amit azon az axiómarendszeren belül nem lehet megválaszolni. Tetszés szerint választhatunk axiómarendszereket, amelyekben magunk írjuk elő, hogyan viselkedjenek a párhuzamosok, avagy mi legyen a helyzet a kontinuum-hipotézissel. A kiválasztási axiómának nevezett halmazelméleti feltételt egy időben a matematikusok egy része nem akarta elfogadni. A tudományok a matematikától várják egzaktságuk megalapozását, miközben a matematika agyaglábú óriássá vált: fogalmunk sincs, mi hiányzik igazán, mit hoz még a jövő ebben a folyamatban, hiszen igaz ugyan, hogy amikor János vitéz elpusztította a boszorkányokat, közben egyre világosabb lett, de mit tegyünk, ha újabb felfedezéseink során sokszor az a kellemetlen érzésünk támad, mintha miattuk egyre sötétebb lenne, legalábbis abban az értelemben, hogy hirtelen kiderül, korábban nem is volt olyan világos, amint azt hittük.

Katasztrófaelmélet

Huszonöt éve divatossá vált a differenciálegyenletek vizsgálata során feltárt néhány aránylag egyszerű struktúratételre azt mondani: no, most ezek mindent megmagyaráznak az életben. Csak részben tették, ezt a kissé kénköszagú funkciójukat azóta más témák vették át, valószínűleg ezek is csupán ideiglenesen.

Káosz

Most a káosz talán a legkénköszagúbb, részben azért, mert matematikai vizsgálata szokás szerint nehezen követi a fizikusok empirikus észrevételeit. A fraktálok világa inkább csak esztétikus játéknak mondható. De azt a gondolatot szépen ilusztrálja, hogy a részekben tükröződik az egész.

Evolúcióelmélet

Kissé eltávolodva a tudományoktól, láthatjuk, hogy a matematika „árasztásos módszerrel” terjed: a fizika-kémia-biológia-orvosi tudományok mentén csak fokozatosan lépi át a természettudományok és bölcsészet tradicionális határait. Ebben a folyamatban külön nyomon követhető a bizonyosság-bizonytalanság egymást követő hulláma. A felvilágosodás bizonyosságával felállított darwini elképzelést szerintünk ma még mindig csak a hiedelmek világába sorolhatjuk, noha folyamatos itt is a „most már egészen bizonyosan tudjuk” közlések megjelenése. Újabban épp a bizonytalanság eszközei dominálnak itt is: természetes gondolat, hogy amiként a kozmosz a káoszból emelkedett ki, ezt tette az élet is. Egyáltalán elképzelhető, hogy *Gács Péter*nek egy aránylag ezoterikus matematikai konstrukciója nincs is olyan távol attól, hogy az élet keletkezésének rég keresett kulcsa legyen: világunk egymásba skatulyázott önálló egységek végtelen láncolata, amelyek kialakulásuk során egy darabig egymástól függetlenül saját életüket élik, aztán egymás vonzásába kerülve, kölcsönösen rabul ejtik egymást, újabb egységekké szerveződnek. Bozonok, kvarkok, atomok, vegyületek, nukleotidok, fehérjék, élő sejtek, többsejtű élőlények, ezek csoportulásain át ma még nem látjuk, hova fut tovább a láncolat, ha egyáltalán van tovább út, és ha van, hogyan lehet azt megtalálni.

Az élő rendszerek hierarchikus egymásra épülése miatt nemcsak az élet eredetének megértéséhez kell tisztáznunk ezeket a kérdéseket, hanem az élő szervezetek megvédéséhez, gyógyításához is: az evolúció nagy léptékű folyamatai kismértékben megismétlődnek az egyedi életben is, szerepük van a veleszületett rendellenességek kialakulásában, öröklődésükben, a rosszindulatú daganatok keletkezésében és az immunrendszer működésében is. Hasznos és veszélyes egyszerre az önszerveződés, ha egyáltalán értelmezhetőek ezek az értékítéletek ilyen nagy léptékű folyamatokkal kapcsolatban.

Biztosítások

Amit megismerünk, megbarátkozunk azzal. Így a véletlen is – áttörvén az ismeretlenség kénköszagú burkát – szerencsejátékok szórakoztató világa után prózaibb szerepeket kapott életünkben. A kockázatok kezelésének általános módszere azok megosztása az érintettek között. Itt a kalibrálás, centiméterrel való mérics-

kelés hétköznapi szükséglet akkor is, ha a folyamatos változás ezt sokszor megnehezíti. A változások olyan felgyorsult szakaszában, mint napjainkban, időnként el is lehetetleníti. A sztochasztika statisztikai alkalmazásai során szerzett legfontosabb tapasztalásunk az, hogy a véletlennek ugyanúgy egyénisége, saját arca, ujjlenyomata van, mint egy embernek vagy bármilyen más bonyolultabb rendszernek. Egy kívülálló hajlamos úgy gondolni a véletlenre, mint valamilyen alakatlan és kiismerhetetlen masszára: ez nem igaz, az viszont tény, hogy van ilyen véletlen is (kissé talán pontatlan kifejezéssel azt szoktuk mondani, hogy ez a „tisztá” véletlen), és a bonyolultabb lehetséges arcvonásokról még nagyon kevés, csak fokozatosan kialakuló elképzelésünk van.

A *kockázat* fogalma nem azonos a véletlennel, szokásos értelmezés szerint

- a) egy ember vagy csoport tudatos cselekedete, döntése esetén beszélhetünk kockázatról, ami
- b) a jövőben várható következményeknek valamilyen előre nem látható, a tervezettől eltérő fordulata során
- c) kedvezőtlen, káros kimenetelre vezet, és sokszor
- d) a cselekvést végző, a döntést hozó személy maga váltja ki, esetleg a bonyolultabb folyamatban részt vevő egységek szervezetlensége révén.

Napjainkban nagy hatása van a véletlennek a gazdasági és a piaci életre. Az 1960-as évek hőskorában elterjedt nézet volt az, hogy modern és hatékony ipari tevékenység csak matematikai eszközök, közelebbről az operációkutatás módszereinek az alkalmazásával lehetséges. A megbízhatóság-elmélet, a döntési folyamatok elmélete, a játékelmélet, a sztochasztikus folyamatok vezérlésének módszerei az alakfelismerés technikájával együtt a szakértői rendszerek, a mesterséges intelligencia, robotika témáiba épültek be napjainkra, de a matematika mindenhatóságába vetett hit gyengülni látszik. A romantikus túlzások után egyszerűen használják a matematikát a döntések előkészítésében. A pénzügyi matematikában a kockázat jelentősége például a befektetések megválasztásakor bukkan fel, egy befektetési tervet, portfóliót immunizálhatunk a benne szereplő elemek kockázati jellegének alkalmas vegyítésével. Sok esetben maga a számítástechnika mint a gondolkodást segítő eszköz önmagában elegendő, más esetekben viszont magát a gondolkodást is a rendszernek kell elvégeznie azért, mert a lehetséges esetek számbavétele az emberi gondolkodás számára egyszerűen lehetetlen.

Találkozásunk a kockázatokkal néha aktív, néha passzív, van úgy, hogy mi vadászunk másra, és előfordul, hogy ránk vadásznak. A passzív találkozásnak legszemléletesebb példája a folyók menti gátrendszer. Magassága, karbantartása, megbízhatósága időtartamban mérhető: mondjuk, kétszáz éve nem fordult elő magasabb árvíz. (Számptalan példa látható napjainkban, amikor az ilyen rekordok sorra megdőlnék a megváltozott körülmények miatt.) Az aktív kockázatvállalásra a tipikus példa az üzleti élet. Mindenki maga tudja önmagának lemérni, az ér-e többet neki, hogy egy év múlva vagyona tíz esetből egyszer megtízszereződhet, különben a többi esetben elvész, vagy tíz év múlva biztosan megkétszereződik.

Modellépítés

A jelenségek okainak vizsgálatában fontos szerepe van a reprodukciónak. A matematikai tételek egy része bizonyos matematikailag jól körülhatárolható dolgok létezését állítja. Ezt gyakran nem értik a laikusok: azokban az esetekben, amikor a szóban forgó dolog túl közel van a valódi megfelelőjéhez, azt hiszik, az objektív létezés eleve biztosítja az elméleti szükségszerűséget is. Hasonló gondot okoz a véletlen szerepének pontos megértése. Századunk fizikájának néhány alapvető eredménye arra utal, hogy a véletlen egyrészt az anyag alapvető, mással nem helyettesíthető tulajdonsága, másrészt kiiktathatatlan az anyaggal való kapcsolatunkból. Mégis egy konkrét jelenség leírásánál hasznos különválasztani a folyamatban eleve benne levő véletlent a megfigyelése során keletkezőtől. Ez utóbbi esetben ismét két eset lehet: magának a megfigyelésnek a megváltoztatásával a véletlen szerepe csökkenthető, esetenként teljesen kiiktatható, vagy a megfigyelés eleve csak bizonytalan információkkal szolgálhat. Más esetekben igaz ugyan, hogy a véletlen szerves része a vizsgált folyamatnak, de a nagy számok törvénye miatt egyszerűen láthatatlan. Ez a jelenség az oka annak, hogy csak fokozatosan terjednek a sztochasztikus módszerek. Sok esetben nincs is különbség a determinisztikus és sztochasztikus modellek között.

Sztochasztikus számítástechnika

A palackból kiszabadult szellem szolgálai munkára fogásának legjobb példája a kiszámíthatatlan véletlen alkalmazása azoknak a konkrét, determinisztikus számítási feladatoknak a megoldásában, amelyek tradicionális eszközökkel napjaink technikai feltételei mellett egyszerűen lehetetlenek. Csak utalni tudunk itt a hazai számításméleti iskola fontos sztochasztikus eredményeire: hashing, rendezés, többdimenziós integrálok kiszámolása, a matematikai bizonyítások helyességének automatikus ellenőrzése.

Ramsey-számok

Egy tizenkét fős társaság szilveszterkor azzal töltötte az időt éjfélig, hogy minden lehetséges módon párokat alkottak a társaság tagjaiból (66 eset), és mindegyikre fej-írás alapján eldöntötték, koccintsanak-e éjfélkor. Mekkora annak a valószínűsége, hogy a kapott koccintási rendben igaz az, hogy bárhogy veszünk is a társaságból négy embert (495 lehetőség), azok között mindig van kettő, akik koccintottak egymással, és van kettő, akik nem koccintottak?

No de ne álljunk meg félúton: található-e olyan koccintási rend, amelyben igaz az, hogy bárhogyan választunk is ki a társaságból négy embert, közöttük pontosan három olyan pár van, akik koccintottak egymással, és három olyan, akik nem koccintottak. Szeretnénk ugyanis tökéletes rendet kialakítani: ha elhatároztuk,

hogy a társaságban csak az összes lehetséges koccintásnak fele, 33 történik meg éjjélkor, akkor ezt a társaság minden részére érvényesíteni akarjuk. Végül is mi-féle igazság az, ami csak általában érvényesül? Ebben az ártatlannak tűnő kérdésben a sztochasztika újabb arca ismerhető fel: ott is jelen van, ahol a legkevésbé várnánk: a szabályosnak, tökéletesnek hitt rendszerek vizsgálatában. Erdős Pál és tanítványai számtalan esetben alkalmaztak sztochasztikus módszereket a matematika klasszikus feladatainak a megoldására.

Pszichológia és szociológia

Lelki életünk folyamatai valószínűleg legalább olyan mértékben sztochasztikusak, mint az elemi részecskék. Szaporodnak a példák arra, hogy ha még nem is világos teljes mértékben a működésük, azok utánzása hatékony számítástechnikai módszereket eredményez. A társadalomban együtt élő, egymásra hatással levő egyedek rendszerének vizsgálata a kvantumfizika által felderített nehézségekkel küzd: minden vizsgálat hatással van arra, amit vizsgál. És nem látjuk a teljes képet, mindig csak a vetületét. Ezért olyan vizsgálati módszerekre van szükség, amelyek a részekből képesek összeállítani az egészet.

Tetszőleges méretű társaság játszhatja tetszőleges ideig a következő játékot. Mindenki felír egy cédulára egy pozitív egész számot. Az nyer, aki a legkisebb olyan számot írta, amelyet csak egy ember írt. Egymást követő játékok során a játékosok nyeréseik számát gyűjtik, az egész folyamatot az nyeri, aki legtöbbször nyert. A tapasztalat azt mutatja, hullámvázok alakulnak ki: a nyertes szám egy ideig nagyon kicsi, aztán hirtelen megnő. A többszemélyes játékok alapvető veszélye a koalíció kialakulása: néhány játékos hamar rájön arra, hogy ha titokban együttműködnek, azzal a csoport tagjai növelni tudják a nyerési esélyeiket.

Meg lehet-e tanulni egyáltalán a demokráciát? Bizonyítható-e az, hogy sok játékos egymástól független öncélú tevékenysége azon túlmenően, hogy az egyes játékosoknak hasznos eredményre vezet, valamiféle közös célfüggvényt is optimalizál? Mekkora a veszélye annak, hogy egy ilyen rendszer kaotikussá válik? Modern életünknek sok baja származik abból, hogy apró rendszerek hierarchikusan egyre nagyobb és bonyolultabb rendszerekké szerveződnek, amelyeknek a működési zavarai csak azután jelentkeznek, hogy maguk a rendszerek már kialakultak, visszavonhatatlanul ellehetetlenítve az apró egységek önálló létezését. Egyszerűbb esetekben csak az okoz gondot, ha rosszul irányítunk egy rendszert: megzavarjuk az egyensúlyi helyzet kialakulását, vagy képtelenek vagyunk arra a pályára vezérelni, amiről tudjuk, hogy helyes. Úgy gondoljuk, ezekben a helyzetekben a matematika legnagyobb haszna az lehet, ha a maga viszonylagosan tiszta eszközeivel szétválasztja azokat a dolgokat, amiket valóban tudunk, azoktól, amiket csak tudni vélünk.

Zárszó

Csak töredékéről volt eddig szó mindannak, ami a témához tartozik. Ha a bevezetőben azt mondtuk is, hogy minden esetet össze szeretnénk gyűjteni, ahol a véletlennek valamilyen szerepe lehet, ezt nem gondolhattuk komolyan. Így is éppen csak említeni tudtunk néhány szerintünk fontos témát. Mindazoktól viszont elnézést kérünk, akik valamiért más véleményen vannak: ez ilyen jellegű téma: akik művelik, erősen kötődnek hozzá, ezért alakul ki vele kapcsolatban sokféle vélemény.

Irodalom

- N. Alon–J. H. Spencer: *The probabilistic method*. Wiley, 1992.
- Bognár Jánosné–Nemetz Tibor–Tusnády Gábor: *Ismerkedés a véletlennel*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1980.
- Bródy F.–Vámos T.: *The Neumann compendium*. World Scientific, 1995.
- Czeizel A.–Telegdi L.–Tusnády G.: *Multiple congenital abnormalities*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.
- Czeizel A.–Tusnády G.: *Aetiological studies of isolated common congenital abnormalities in Hungary*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984.
- Csányi Vilmos: Evolúció vagy Teremtés: Mítoszok vitája? *Magyar Tudomány*, 42 (1997) 1281–1293.
- Csirmaz László: 99%-os bizonyítások. Akadémiai felolvasó előadás, Budapest, 1998.
- M. Eigen–R. Winkler: *A játék*. Gondolat, Budapest, 1981.
- M. H. Freedman: P/NP, and the quantum field computer, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 95 (1998) 98–101.
- Gács P.: Reliable computation with cellular automata. *Journal of Computer System Science*, 32 (1986) 15–78.
- R. L. Graham–B. L. Rothschild–J. H. Spencer: *Ramsey theory*. Second Edition, Wiley, 1990.
- Juhász-Nagy Pál: *Az eltűnő sokféleség*. Scientia Kiadó, Budapest 1993.
- S. A. Kauffman: *The origins of order, Self-organization and selection in evolution*. Oxford U. P. 1993.
- Lovász László–Gács Péter: *Algoritmusok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- Lovász L.–Simonovits M.: Random walks in a convex body and an improved volume algorithm. *Random Structures and Algorithms*, 4 (1993) 359–412.
- B. B. Mandelbrot: *The fractal geometry of nature*. W. H. Freeman, 1983.
- J. Maynard Smith–Szathmáry Eörs: *Az evolúció nagy lépései*. Scientia Kiadó, Budapest, 1997.
- A. Prékopa: *Stochastic programming*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1995.
- D. N. Schramm: The age of universe, dark matter, and structure formation. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 95 (1998) 1–1.
- B. H. Singer–S. Pincus: Irregular arrays and randomization. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 95 (1998) 1363–1368.
- Székely J. Gábor: *Paradoxonok a valószínűségszámításban és a matematikai statisztikában*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- Székely J. Gábor–Tusnády Gábor: A véletlen filozófiai kérdései matematikai szempontból. *Magyar Tudomány*, 11 (1987) 832–840.
- T. Tada: The immune system as a supersystem. *Annu. Rev. Immunol.*, 15 (1997) 1–13.
- Tusnády Gábor: Hashing. *Matematikai Lapok*, 33/1–3 (1986) 143–148.
- Tusnády Gábor: Mutáció és szelekció. *Magyar Tudomány* 42 (1997) 792–805.
- G. Tusnády: Statistical analysis and prediction of Hungarian mortality curves. In: É. Erlich–G. Révész: *Human resources and social stability during transition in Hungary*, 242–253, International Center of Economic Growth, San Francisco, California, 1995.
- Tusnády Gábor: A rákkutatás matematikai alapjai. *Alkalmazott Matematikai Lapok*, 16 (1992) 115–130.
- Vajda György: *Kockázat és biztonság*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998.
- Varga Zoltán: Személyes gondolatok az evolúcióról. *Magyar Tudomány*, 9 (1998) 1029.

A nukleáris energia hasznosításával kapcsolatos kockázatok és a jog

Tudományos ülésszakunkon már eddig is sokféle kockázatról szó volt, amelyeknek szinte mindegyikére a jog reagál, és – kockázattól függően – eltérően. Pl. másképpen ítéli meg a jog az orvosok felelősségét a műtétekkel összefüggő kockázatokért, mint a veszélyes üzemnek minősülő vasút felelősségét vagy egy vadállat tartásával járó kockázatot.

A jog által különösen kockázatosnak minősülő tevékenységek jellemzője – amint erre Eörsi Gyula rámutat –, hogy ezek részben vagy a tudomány és a technika fejlődésével összefüggő tevékenységek, tehát a *fejlett technikából* adódik a veszélyes jelleg, vagy pedig éppen fordítva: a *tevékenység kezdetlegességével* függ össze a különös veszélyesség.¹ Az első esetre példa a repülő, a vonat vagy az atomenergia hasznosítása, a másodikra a kútásással vagy a kavicsbányászattal kapcsolatos omlásveszély említhető klasszikus példaként.

A technika fejlődése mindkét fajta veszélyes tevékenységre hatással van: a technika előrehaladtával ugyanis egyre több a fejlett technikából adódó különös kockázattal járó tevékenység, míg a kezdetleges technikával kapcsolatos kockázatok esetében a technika fejlődésével e tevékenységek veszélyessége, ha nem is szűnik meg, de jelentős mértékben csökkenhet.

A sokféle kockázattal járó tevékenységeket a jog is többféleképpen szabályozza, s valójában meglehetősen nehéz valamennyi kockázatos tevékenységre vonatkozó egységes szabályokról beszélni. Egyértelmű azonban, hogy a jog különös figyelemmel kíséri a kockázatos tevékenységeket, s ezeket szigorú közigazgatási, büntetőjogi és anyagi felelősségi szabályokkal bátyázza körül.

A jogban különösen kimunkáltak a veszélyes és a nagy kockázatot magukban hordozó tevékenységekkel kapcsolatos anyagi felelősségi szabályok, amelyek megtalálhatók mind az államok belső jogában, mind pedig a nemzetközi jogi szabályokban. Az ilyen veszélyes tevékenységekért való felelősséget *objektív felelősségnek* nevezik, ami lényegében a *kockázattért való felelősségen alapul*.² E felelősségi

1 Vö.: Eörsi Gyula: *A jogi felelősség alapproblémái, a polgári jogi felelősség*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1961. 365–366.

2 Vö.: P.-M. Dupuy: *La responsabilité internationale des États pour les dommages d'origine technologique et industrielle*. Pedone, Paris, 1976. 41. és köv.

szabályok az európai államok belső jogában a múlt században tűntek fel, s Magyarországon is – német mintára – az 1870-es években a vasút által okozott károk tekintetében vezettek be ilyen szabályokat.³

A technika fejlődésével ez a felelősségi alakzat egyre több tevékenység vonatkozásában jelent meg, s az államok belső jogából átkerült a nemzetközi jogba. E felelősség sajátossága az, hogy a felelős vétkességére tekintet nélkül köteles a kártérítésre, s a felelősség szempontjából közömbös, hogy a kárt okozó magatartás szándékos vagy gondatlan volt. Egy a lényeg: fennálljon az okozati összefüggés a kockázatos tevékenység és a bekövetkezett kár között.

Az államközi kapcsolatban ilyen felelősségi szabályok különösen két, a technika fejlődésével szorosan összefüggő területen alakultak ki, nevezetesen az atomkárok és az űrkárok vonatkozásában. E két területtel kapcsolatos felelősségi szabályok azonban több szempontból is különböznek egymástól.

Az űrkárokért való felelősség esetében ugyanis az állam felelősségéről van szó, s az ENSZ Közgyűlésének 1970. november 21-i ülésén elfogadott, az űrobjektumok által okozott károkért való nemzetközi felelősségről szóló egyezmény értelmében a felbocsátott űrobjektumok által okozott károkért a *felbocsátó államot* terheli a felelősség.⁴ Az atomkárokért való felelősséget szabályozó nemzetközi szerződések viszont a felelősséget *polgári jogi alapon* rendezik, s ezen károkért az üzemeltetők felelnek, vagyis azok a természetes vagy jogi személyek, akiket a nukleáris létesítmény helye szerinti állam belső joga alapján a veszélyes tevékenység folytatójául kijelöltek vagy elismertek.⁵ Vagyis az atomkárok esetében nem beszélhetünk az állam felelősségéről, s – mind a belső jogok, mind pedig a hatályos nemzetközi szerződések szerint – a nukleáris károkért való felelősség azokat terheli, akik a szükséges engedélyek birtokában jogosultak a nukleáris létesítményt üzemeltetni. Ezen alapul a két legfontosabb nukleáris kárfelelősségi egyezmény, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség égisze alatt 1963-ban megkötött bécsi egyezmény⁶ és az OECD tagállamai között 1960-ban létrejött párizsi egyezmény. Meg kell jegyezni, hogy az utóbbi években mind erőteljesebben jelentkeznek azok a törekvések, amelyek arra irányulnak, hogy a nukleáris károk tekintetében a jelenleg hatályos polgári jogi kárfelelősségi rendszert váltsák fel az állam felelősségén alapuló rendszerrel. A nukleáris károk vonatkozásában az állam felelősségének bevezetése mellett és ellen számos elméleti és gyakorlati érv hozható fel. Az állam felelőssége mellett síkra szállók különösen a csernobili balesetre hivatkoznak, mondván, hogy a katasztrófaméretű nukleáris balesetek károsultjainak kártalanítása mindenképpen az államok kötelessége, mert csak az államok rendelkeznek az anyagi eszközök olyan mennyiségével, amelyből az ilyen balesetek károsultjainak kártalanítása megoldható. Az 1963. évi bécsi egyezmény felülvizsgálatával foglalkozó, 1989 és 1997 között folyt tárgyalásokon

3 L. az 1874. évi XVIII. tc.-t „A vaspályák által okozott halál vagy testi sértés iránti felelősségről”.

4 Kihirdetve: 1973. évi 3. tvr.

5 Vö.: J. P. H. Trevor: Third party liability. The international legal framework and its transposition into national legislation. In: *Insurance for Nuclear Installations*. IAEA Legal Series, No. 6. IAEA, Vienna, 1970. 39–43.

6 Ennek az egyezménynek Magyarország 1989 óta részese [kihirdetve: 24/1990. (II. 7.) MT rend.].

komolyan felvetődött a nukleáris károk vonatkozásában az állam felelősségének statuálása.⁷ A delegátusok többsége azonban az erre irányuló javaslatokat nem támogatta, s a bécsi egyezményt módosító, 1997-ben elfogadott jegyzőkönyv a kárfelelősségi rendszer alapkoncepcióján nem változtatott. Az üzemeltető felelőssége helyett az állam felelősségének előtérbe állítása egyébként lényegében ellemehatna annak az elméletnek, amely – amint erről majd még szó lesz – a kockázatot való felelősséget a prevencióra törekvős fokozásával próbálja magyarázni.⁸

Az atomkárokért való felelősség más vonatkozásban is sajátos. Így mindenekelőtt az atomkárok tekintetében élesen különbséget kell tenni az *atomenergia békés célú hasznosítása* során előálló károk és az *atomfegyverekkel* folytatott kísérletek vagy az ezek esetleges alkalmazása nyomán keletkező károk között. Az atomfegyverekkel folytatott tevékenységekre vonatkozóan ugyanis nem jöttek létre speciális felelősségi szabályok, hiszen valójában az atomfegyverek alkalmazásának jogszerűsége vagy jogellenessége sem egyértelműen tisztázott. Talán csak az atomfegyver-kísérletek tekintetében beszélhetünk tiszta helyzetről, amennyiben a légkörben, a világűrben és a víz alatt végzett nukleáris kísérleteket az 1963. évi moszkvai részleges atomcsendegyezmény betiltotta.⁹ Az atomfegyver-kísérletek teljes betiltásáról 1996. szeptember 24-én New Yorkban létrejött egy nemzetközi szerződés, ez azonban még nem lépett hatályba.¹⁰ A nukleáris fegyverek alkalmazásának jogszerűsége tekintetében már sokkal bizonytalanabb a helyzet. Jól bizonyítja ezt a Nemzetközi Bíróságnak egy 1996-ban kelt tanácsadó véleménye, amelyben a Bíróság maga sem adott egyértelműen világos választ a nukleáris fegyverek alkalmazásának, illetve az azokkal való fenyegetés megengedettsége nek kérdésében. A Bíróság ugyanis egyfelől leszögezte, hogy a nukleáris fegyverek alkalmazása ellentétes a humanitárius nemzetközi joggal és a hadijoggal, másfelől azonban azt is megállapította, hogy „figyelemmel a nemzetközi jog jelenlegi állására és a rendelkezésre álló tényekre, a Bíróság nem juthat végső következtetésre a tekintetben, hogy a nukleáris fegyverek alkalmazása, illetve az azokkal való fenyegetés jogszerű-e vagy jogellenes, az önvédelemnek olyan szélsőséges esetében, amikor az állam túléléséről van szó”.¹¹

A nukleáris tevékenységekkel kapcsolatosan jelentkező kockázatokért való felelősség tekintetében tehát csak a békés célú nukleáris tevékenységek vonatkozásában alakultak speciális felelősségi szabályok, s azok közül is csak azokra a tevékenységekre, amelyek során aránylag nagyobb mennyiségű sugárzó anyag kerül felhasználásra, tehát pl. a gyógyászatban alkalmazott sugárzó anyagok kívül esnek e sajátos szabályozási körön. Ez a felelősség továbbá csak harmadik személyek irányában áll fenn, vagyis csak olyan „külső személyek” káraitra

7 Vö.: L. de La Fayette: Towards a New Regime of State Responsibility for Nuclear Activities. In: *Nuclear Law Bulletin*, No. 50. és J. Lopuski: *Liability for Nuclear Damage*. National Atomic Energy Agency, Warsaw, 1993.

8 Vö.: Marton Géza: *A polgári jogi felelősség*. Triorg, Budapest, 1994. 265.

9 Kihirdetve: 1963. évi 26. tvr.

10 Az egyezmény szövegét l. *International Legal Materials*, 1996. No. 6.

11 *ICJ Reports*, 1996. 266.

vonatkozik, akik sem munkaviszony, sem pedig semmilyen más jogcímen nem állnak kapcsolatban a nukleáris létesítménnyel. Vagyis, a speciális atomkárfelölsségi szabályok nem vonatkoznak sem magában a nukleáris létesítményben keletkező károkra, sem pedig a nukleáris létesítményben dolgozók káaira.

Az 1963. évi bécsi egyezmény felülvizsgálása során szó volt arról, hogy a nukleáris kárfelölsségi rendszer ne csak a békés célú nukleáris létesítményekkel összefüggésben keletkező károkra vonatkozzék, hanem a katonai célú létesítményekből származó károkra is. A tárgyalások utolsó fázisában azonban végül is a delegátusok elálltak ettől a javaslattól.

Az atomkárokért való feleöltség szabályozásának egyik legfőbb jellemzője, hogy a jogalkotó – s ez kimutatható mind a belső jogi, mind pedig a nemzetközi jogi szabályokban – mindig is igyekezett egyfajta egyensúlyt teremteni az atomipar céljai és az esetleges áldozatok érdekei között. A feleölsségi szabályokban – minden szigorúságuk ellenére – kimutatható az a törekvés, hogy támogassák a békés célú atomipar fejlődését, ugyanakkor azonban – és ez természetes – amennyire csak lehet, biztosítsák a potenciális károsultak érdekeinek a védelmét.

Az atomkárok rendezésére vonatkozó nemzetközi szerződések legfőbb sajátossága a feleöltségnek az üzemeltetőre való összpontosítása, aki a bekövetkezett károkért vétkességére tekintet nélkül felel. Ezzel a feleölsséggel tulajdonképpen a feleöltséget függetlenítik a jogsértő cselekménytől, s az üzemeltető mindenképpen köteles helytállni, függetlenül attól, hogy kinek a tevékenységének tudható be a kárt okozó magatartás. Ez a szabály bizonyos mértékben egyszerűsíti a nukleáris kárfelölsségi ügyeket, hiszen egy nukleáris létesítmény üzemeltetése igencsak komplex folyamat, amelynek során meglehetősen nehéz és adott esetben igencsak hosszadalmas lehet annak kiderítése, hogy valójában mi váltotta ki a kárt előidéző nukleáris eseményt. A fentebb említett szabály tehát azt jelenti, hogy bárki okozta a nukleáris kárt előidéző eseményt, a károsultak felé mindig az üzemeltető felel. Ez főleg két szempontból fontos. Egyfelől az üzemeltetőt arra készteti, hogy kellő gondossággal válassza meg azokat a cégeket és magánszemélyeket, amelyeket és akiket valamilyen formában bevon a nukleáris létesítmény építésébe, üzemeltetésébe stb., hiszen adott esetben helyettük is ő felel. Másfelől ez a megoldás a károsultak érdekeit is szolgálja, miután a károsultak mentesülnek attól, hogy nekik kelljen kideríteniük, valójában kinek a tevékenysége vagy mulasztása miatt szenvedtek kárt.

A nukleáris kár fogalma a nukleáris kárfelölsségi rendszer egyik legbonyolultabb kérdése, s különösen a csernobili és a Three Mile Island-i baleset következtében kerültek előtérbe a nukleáris kár fogalmával összefüggő problémák. Egyértelműen világossá vált ugyanis, hogy a közvetlenül kárt szenvedetteken túlmenően számolni kell bizonyos kárelhárítási, mentési költségekkel, a lakosság evakuálásával, orvosi kezelésével, ellenőrzésével stb. összefüggésben adódó kiadásokkal is, amelyekről például az 1963. évi bécsi egyezmény említést sem tesz. Ennek kapcsán felvetődik továbbá az is, hogy mi a helyzet akkor, ha – szerencsére – nem következik be nukleáris baleset, azonban esetleg aránylag hosszabb ideig fennáll a baleset veszélye, s ezért szükséges a fentebb említett intézkedések megtétele.

Vitathatatlanul nukleáris kárnak minősül az emberi élet elvesztése, az egészségkárosodás, az anyagi javak megsemmisülése, megrongálódása stb., s e károk vonatkozásában nincs különbség a belső jogok és a nemzetközi szerződésekben rögzített szabályok között. Az államok belső joga azonban már igencsak eltér egymástól a tekintetben, hogy bizonyos kármegelőzési, kárenyhítési intézkedésekkel összefüggésben felvetődő költségek a nukleáris kár fogalma alá tartoznak-e vagy sem, nem is beszélve a környezeti károk és a gazdasági károk vonatkozásában meglévő különbségekről.¹² A belső jogokban e téren fellelhető eltérésekre utal maga a bécsi egyezmény is, amikor a emberi élet elvesztésén, az egészségkárosodáson és az anyagi javak elvesztésén túlmenően az egyéb károkért való kártalanítást az eljáró bíróság államának jogától teszi függővé. Vagyis, adott esetben az egy nukleáris baleset károsultjainak járó kártalanítás nem kis mértékben attól is függ, hogy miképpen értelmezi a kárigényekről döntő bíróság államának joga a nukleáris kár fogalmát.

Az 1963-as bécsi egyezmény felülvizsgálása során a nukleáris kár fogalma az egyik legtöbbet vitatott kérdés volt, s a közel 9 évig tartó tárgyalások eredményeképpen a szerződést módosító jegyzőkönyvben a nukleáris kár fogalmának egy meglehetősen részletes és valójában a károk szinte valamennyi számításba jöhető kategóriáját magában foglaló definícióját fogadták el.¹³ Ez a definíció igen precíz és részletező, s a nukleáris kár fogalma alá tartozónak minősíti a környezeti károk egy részét, a gazdasági károkat, a kárenyhítési intézkedésekkel és a károk bekövetkeztét megelőző intézkedésekkel kapcsolatos költségeket stb. Nagy kérdés azonban, hogy ez az okmány mikor fog hatályba lépni, s főleg az államok hajlandóak lesznek-e a gyakorlatban a nukleáris károk fogalmát ilyen szélesen értelmezni.

Az üzemeltető felelőssége – amint erről már szó volt – vétkességére tekintet nélkül fennáll, tehát független attól, hogy a kárt szándékosan vagy gondatlanul okozták-e, és csak egészen kivételes esetekben mentesülhet a felelősség alól. Az 1963. évi egyezmény a következő kimenési okokat említi: fegyveres összeütközés, háború, polgárháború, fegyveres felkelés, rendkívüli méretű természeti katasztrófa. A bécsi egyezmény 1997-ben történt módosítása nyomán a kimentési okok tovább szűkültek, s a bécsi egyezményt módosító jegyzőkönyv alapján a rendkívüli természeti katasztrófa sem szolgálhat kimentési okként.

Az atomkárokért való felelősség másik jellemzője az anyagi felelősség összegének korlátozott volta. Ez az atomkárok esetében egy igen sajátos szabály, s szakítást jelent azzal a hagyományos elvvel, miszerint a károkozó köteles az okozott kárt teljes egészében megtéríteni.¹⁴

12 A nukleáris károk fogalmával kapcsolatban I. H. Rustand: Updating the concept of damage, particularly as regards environmental damage and preventive measures, in the context of the ongoing negotiations on the revision of the Vienna Convention – some comparative aspect. és K. Leigh: Liability for damage to the global commons. In: *Nuclear Accidents, Liabilities and Guaranties*. OECD, Paris, 1993. 218–238. és 521–558.

13 Vö.: *Protocol Amending the Vienna Convention*. Art. 2.2., 2.3 és 2.4.

14 Vö.: P. Strohl: The Concept of Nuclear Third Party Liability and its Implementation by Legislation in OECD Member Countries. In: *Experience and Trends in Nuclear Law*. IAEA Legal Series, No. 8. 69.

Az atomkárokért való anyagi felelősség összegének korlátozott volta az államok belső jogából került át a nemzetközi szabályozásba, s az 1960-as évek elején létrejött két nukleáris kárfelelősségi egyezmény is ezt az elvet követi. Az 1963-as bécsi egyezmény a kárfelelősség összegét minimum 5 millió USA-dollárban állapítja meg. Vagyis az államok akkor tesznek eleget a szerződés rendelkezéseinek, ha belső jogukban az üzemeltető felelősségének felső határát nukleáris balesetenként minimum 5 millió dollárban határozzák meg; tehát ennél magasabbat megállapíthattak, alacsonyabbat azonban semmiképpen. Az 1960-as párizsi egyezmény az üzemeltető felelősségének felső határát 15 millió SDR-ban rögzítette, ami kb. 20 millió USA-dollárnak felel meg. Ezt az összeget utóbb az egyezményben részes államok megemelték, s jelenleg a szerződésben részes államok belső joga szerint az üzemeltető felelősségének felső határa ennél lényegesen magasabb összeg, sőt számos államban a felelősség felső határát el is törölték. A párizsi egyezményhez kapcsolódik az 1963. évi brüsszeli egyezmény, amely – többszöri módosítás következtében – nemzetközi összefogással összesen 300 millió SDR erejéig biztosít pénzügyi fedezetet a nukleáris kárt szenvedettek kártalanítására.¹⁵

Joggal vetődik fel a kérdés, hogy miért szükséges a kárfelelősségi összeget korlátozni, hiszen egyértelmű, egy nukleáris baleset szinte felmérhetetlen károkat okozhat, s a kárfelelősség összegének korlátozott volta – bármilyen magas legyen is az – mindenképpen a károsultak érdekei ellen hat. A korlátozott összeg ugyanis azt jelenti: bármekkora is a kár, egy bizonyos összeg felett szó sem lehet kártérítésről. Vagyis bármekkora is a bekövetkezett károk, a károsultaknak mindenképpen egy meghatározott összegben kell osztozkodniuk. Ezen a tényen az sem változtat, hogy ma már mind a nemzetközi jogban, mind a fejlett ipari államok belső jogában a kárfelelősségi összeg a bécsi és a párizsi egyezményben eredetileg rögzített összegeknek a sokszorososa. Így például az 1996 végén elfogadott új magyar atomtörvény szerint az üzemeltető felelőssége 100 millió SDR, amelyhez csatlakozik az állam által vállalt további 200 millió SDR-os összeg.

A kárfelelősségi összeg korlátozott volta más szempontból is fontos – ez pedig már a károsultak érdekét is szolgálja. Alapvető szabály ugyanis, hogy az üzemeltetőnek gondoskodnia kell a kárfelelősségi összeg meglétéről, mégpedig vagy biztosítás útján, vagy pedig önálló kárfedezeti alap létesítésével. Ezzel a szabályozással azt akarják elérni, hogy egy esetleges nukleáris baleset károsultjai számára a szükséges kártérítési összegek mindenképpen rendelkezésre álljanak, s ne adódhassék olyan helyzet, hogy a nukleáris erőmű csődjé vagy egyszerűen magában a létesítményben keletkezett károk miatt a károsultaknak már nem jut pénz. Vagyis biztosítással, illetve önálló nukleáris kárfelelősségi alap létrehozásá-

¹⁵ A párizsi és a brüsszeli egyezmény egy hármas felépítésű rendszert hozott létre. Az első lépcső az egyes üzemeltetők anyagi felelősségét jelenti, amelynek összege államonként eltérő. A második lépcsőben a belső jogok meghatározta kárfelelősségi összeg maximuma és a 175 millió SDR közötti összeget a létesítmény szerinti államnak kell közpénzekből állnia. A harmadik lépcsőben – amennyiben a károk rendezésére az első két lépcső alapján rendelkezésre álló összegek nem elegendőek – 300 millió SDR-ig a párizs-brüsszeli rendszerben részes államok közösen biztosítják a hiányzó összeget.

val próbálják garantálni a kártérítési összegek meglétét. Ez természetesen csak egy meghatározott összeg erejéig jelenthet megoldást, hiszen az önálló kárfelelősségi alap mindig egy meghatározott összeg, és a biztosítók is csak egy bizonyos összeg erejéig hajlandók az atomerőművekkel felelősségbiztosítást kötni. Vagyis – ha úgy tetszik – a biztos pénz ára a teljes kártérítés feladása.

Mindemellett azonban a nukleáris balesetek esetében sem kizárt a teljes kártérítés, és erre kétféle megoldás ismert. Az egyik szerint – s egyes fejlett ipari államokban, így pl. Németországban és Svájcban ez a helyzet – a nukleáris kárfelelősségi összeget a belső jog nem korlátozza, és állami garanciavállalással biztosítják a mindenkor károsultak teljes kártalanítását. A másik megoldás nemzetközi szolidaritással további pénzösszegek előteremtése, amelyre példa az 1963. évi brüsszeli egyezmény által létrehozott rendszer.

Az 1963. évi bécsi egyezmény felülvizsgálása során felvetődött egy világméretű nemzetközi szolidaritási alap megteremtésének a gondolata. Hosszas tárgyalások után végül is az Egyesült Államok javaslata alapján megszületett a Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage. Ez a szerződés arról rendelkezik, hogy amennyiben a létesítmény állama által biztosításból és közpénzekből rendelkezésre álló összeg nem elegendő valamennyi károsult kártalanítására, akkor nemzetközi összefogással újabb összegek álljanak rendelkezésre. E szerződés rendszeréhez mind a bécsi, mind pedig a párizsi egyezményben részes államok csatlakozhatnak, sőt – a rendszer nyitottsága folytán – még olyan államok is, amelyek nem részesei sem a bécsi, sem pedig a párizsi egyezménynek, vagyis pl. az Egyesült Államok és Japán.¹⁶ Külön kérdés az, hogy egy ilyen nemzetközi pénzalap előteremtése világviszonylatban megoldható-e, s hajlandók lesznek-e az államok közpénzeket rendelkezésre bocsátani egy tőlük esetleg sok ezer kilométerre bekövetkezett nukleáris baleset áldozatainak kártalanítására.

Az atomkárok szabályozására jellemző még a meglehetősen hosszú elévülési idő. Ez elsősorban egészségkárok esetében lehet jelentős, hiszen – mint ismeretes – bizonyos sugárbetegségek esetleg csak évtizedekkel a baleset után jelentkeznek.

A belső jogokban a veszélyes tevékenységekkel összefüggésben keletkező károkkal kapcsolatos elévülési idő általában rövidebb az általános elévülési időnél. Az atomkárok esetében – ezen károk sajátosságaiból adódóan – a szabályozás éppen fordított, s a nukleáris károk elévülési ideje az általános elévülési időnél lényegesen hosszabb. Az 1963-as bécsi egyezményben rögzített 10 éves elévülési időt az új szabályozás az emberi élet elvesztése és egészségkárosodás esetében 30 évre emelte. Ez a meghosszabbított elévülési idő azt eredményezheti, hogy – figyelemmel a nukleáris erőművek 30–35 évre tervezett élettartamára – a létesítmény üzemeltetőjének esetleg évtizedekkel az erőmű bezárása után kell majd egy valamikori baleset áldozatait kártalanítania.

16 A szerződés értelmében a további kárfelelősségi rendszer csak akkor lép működésbe, ha szükség van a pénzalapokra, tehát az államoknak előre nem kell semmiféle befizetést eszközölniük. Az államoknak az alaphoz való hozzájárulásának mintegy 90%-át az adott államban meglévő beépített nukleáris kapacitáshoz, a fennmaradó kb. 10%-ot pedig az illető államnak az ENSZ költségvetéséhez való hozzájárulásának százalékához igazítják.

A nukleáris anyagok veszélyességét a jogalkotó közigazgatási szabályokkal is megpróbálja csökkenteni. Itt most nemcsak a nukleáris létesítményekre vonatkozó meglehetősen szigorú engedélyezési, felügyeleti és biztonsági szabályokról van szó, amelyek természetesen más rendkívüli veszélyt magukban hordozó tevékenységekkel kapcsolatban is léteznek. A nukleáris anyagokkal összefüggésben azonban van egy meglehetősen sajátos és a biztonság szempontjából igen fontos szabálycsoport, amelyeket a nukleáris anyagok fizikai védelmére vonatkozó szabályoknak neveznek. Ezek a normák – amelyekre nézve nemzetközi szerződés is létrejött, s ennek következtében a szabályozás átkerült az államok belső jogába – azt hivatottak megakadályozni, hogy sugárzó anyagok felelőtlen elemek, terroristák stb. kezébe kerüljenek.¹⁷ Az üzemeltető egyébként még az elvesztett, elloptott sugárzó anyagok okozta károkért is felel, s ebben az esetben az elévülési idő a magyar jog szerint is már 20 év.

Szintén az atomenergia hasznosításával kapcsolatos kockázatokat hivatottak csökkenteni azok a belső és nemzetközi jogi szabályok, amelyek a nukleáris hulladékok kezelésére és végső elhelyezésükre vonatkoznak. E téren különösen fontos az a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség közreműködésével 1997-ben elfogadott nemzetközi szerződés, amely a kiegészített nukleáris hulladék anyagok biztonságára és a radioaktív hulladék anyagok biztonságos kezelésére vonatkozik (Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management).

*

Jól tudjuk, hogy az előzőekben említett belső jogi és nemzetközi jogi szabályok nem képesek teljes egészében kiküszöbölni azokat a veszélyeket, amelyek a nukleáris energia békés célú hasznosítása kapcsán jelentkeznek. A kockázatokat a jog segítségével kiküszöbölni nem lehet, de csökkenteni igen, s már ez is nagy eredmény.

¹⁷ L. ezzel kapcsolatban a nukleáris anyagok fizikai védelméről szóló nemzetközi szerződést. Kihirdetve: 1987. évi 8. tvr.

BIOLOGIAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A KELET-KÖZÉP-EURÓPAI ÖKOLÓGIAI KUTATÓHÁLÓZAT

A Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózat

Előzmények, eredmények, továbblépés
címmel megrendezett tudományos előadás-sorozat összefoglalói

Összefoglalta: BORHIDI ATTILA

Kovácsné Láng Edit: Modell jellegű,
hosszú távú ökológiai kutatások

Az egyed feletti biológiai szerveződés különböző szintjeit átfogó hosszú távú ökológiai kutatások mind a szakterület nemzetközi fórumain, mind az Európai Közöségi környezeti politikájában ma már prioritást élveznek.

Ennek oka elsősorban az, hogy a kutatások többnyire hálózatba szervezeten, nagy szellemi és anyagi erők koncentrálásával folynak; ez hatékonyságukat jelentősen növeli, értékesebb produktum keletkezik. Másik ok, hogy a problémafelvetések és -megoldások jelentős részben társadalmi, gazdasági igényt elégítenek ki, és a szupraindividuális organizáció hosszú távú fenntartását szolgálják.

A hosszú távú kutatások az ökológiai kutatások léptékét a szokásosnál jóval nagyobb tér- és idődimenziókra terjesztik ki, az egyed feletti biológiai szerveződés tér-idő hierarchiáját véve figyelembe.

A hosszú távú megfigyelések mellett jól tervezett és dokumentált kísérletekkel próbálják elősegíteni a különböző ökológiai jelenségek megértését, mechanizmusának feltárását.

Fontos szerepet kapnak az ökológiai – elsősorban szimulációs – modellek, amelyek az integráció és szintézis, valamint a hipotézisek generálásának fontos eszközei. Ezenkívül lehetőséget adnak a mechanizmusok értelmezésére és predikciókra.

A hosszú távú ökológiai kutatások adott lokalitásokhoz, site-okhoz kötöttek, amelyek biztonsága (hosszú távú zavartalan használata) garantálja a munka eredményességét. Minden site valamilyen biotop reprezentál, annak általános és speciális, globális és lokális problematikájával. A site-ok kooperáló hálózata biztosítja az eredmények regionalizálásának vagy globalizálásának lehetőségét.

Magyarországon a hosszú távú ökológiai kutatásoknak jelentős hagyományai vannak. A motivációt részben környezeti problémák, részben tudományos megfontolások jelentették. A Balaton eutrofizálódása, a Duna vízminőségének

romlása, a mezőgazdaságban és erdészetben a rovarkártevők gradációja előrejelzésének igénye főként hosszú távú biodiverzitás-vizsgálatokat eredményezett.

Az 1960-as évektől induló nemzetközi tudományos programok, mint a Nemzetközi Biológiai Program (IBP) és MAB, pedig elsősorban produkcióbíológiai és rendszerszemléletű anyagforgalmi vizsgálatok elindítását tették lehetővé.

Az 1990-es évek elején vetődött fel az igény és lehetőség arra, hogy megpróbáljuk a magyarországi hosszú távú kutatásokat szervezettebbé és hatékonyabbá tenni, és csatlakozunk a fejlődőben lévő nemzetközi hálózathoz.

Amikor az US Hosszú Távú Ökológiai Kutatások (LTER) hálózata az NSF támogatásával kezdeményezte a kapcsolatok felvételét, az MTA válasza pozitív volt. Az ökológus kutatók jelentős része csatlakozott az 1994–95-ben „Development of Hungarian-American collaborative research efforts: Biodiversity and Long-Term Ecosystem Research” címen magvalósított tapasztalatcsere célját szolgáló projekthez.

Az MTA által 1997-ben létrehozott Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózatnak egyik bázisát kell, hogy képezze és fogja képezni a magyarországi hosszú távú ökológiai kutatási bázishelyek (site-ok) hálózata. A magyar LTER-hálózat jelenleg 3 site-ból áll, amelyek korábbi kutatási előzményeikre alapozva vállalták a hálózatba tartozás feltételeként megszabott minimum standardok teljesítését. E standardok a kutatási programok „közös” core-areáit, az adatkezelés módját és a hálózati együttműködést szabályozzák. Ezek betartása az adatok, eredmények regionális és globális összehasonlíthatóságát, a szintézisek lehetőségét szolgálja.

A magyarországi hosszú távú ökológiai kutatási hálózat (LTER) tagjai:

– *a Balaton hosszú távú ökológiai kutatási projekt – Tihany, vezető intézménye az MTA BLKI;*

– *Síkfőkút tölgyerdei hosszú távú ökológiai kutatási projekt – Síkfőkút, vezető intézménye a KLTE Ökológiai Tanszéke, Debrecen;*

– *Kiskun homoki-erdőssztyepp hosszú távú ökológiai kutatási projekt – Orgovány, vezető intézménye az MTA ÖBKI, Vácrátót.*

Mindhárom site tudományos programja az élővilág tér-idő mintázatainak és mintázatváltozásainak hosszú távú elemzését, a „Global Change” hatásának detektálását, a változások hátterében álló mechanizmusok feltárását célozza.

Mindhárom site az országra, illetve a régióra jellemző „biomok”, élőlény-együttesek reprezentánsa.

Borhidi Attila, Tuba Zoltán: Az éghajlat változásának hatása az élővilágra

A szerzők a klímaváltozással kapcsolatos kutatásoknak az alábbi két területén elért eredményeiről számoltak be.

1. Természetes növényi közösségek és termesztett növények ökofiziológiai válaszai emelt CO_2 -közegben (Tuba Zoltán)

A globális klímaváltozás egyik kiváltója a légköri CO_2 -koncentráció (jelenleg 350 ppm körül) növekedése, amely üvegházhatású tulajdonsága mellett más módon közvetlenül is befolyásolja a növények életét. Előadásunkban a 2100 körül várható 700 ppm CO_2 -koncentráció néhány hatását mutatjuk be egy jellegzetesen kárpát-medencei vegetáció, a löszpusztagyep és néhány termesztett növény példáján. Az eredmények hazánk és egyben Kelet-Európa egyetlen „Globális klímaváltozás és növényzet” EU kutatóállomásáról (GATE Növénytani és Növényélettani Tanszékének Botanikus Kertje) származnak. Magas CO_2 -koncentráció mellett a löszgyepekben megváltozott a növényfajok egyedeinek egymáshoz viszonyított aránya, ami a faj-egyed-diverzitás csökkenéséhez vezethet. Ezzel párhuzamosan megnőtt az egységnyi talajfelületre eső összlevélfelszín (LAI) is. A gyep faj-egyed összetételében bekövetkezett fenti változás mögött az egyes fajok eltérő mértékű akklimatizációja áll. Ez az egyik legelső bizonyíték arra, hogy egyazon növénytársuláson belül a fajok eltérő mértékű akklimatizációval alkalmazkodnak a tartósan emelt CO_2 -koncentrációhoz.

Az emelt CO_2 -tartalom mellett a sztómakonduktancia és a transzspiráció intenzitása nem csökkent minden fajnál, mint azt eddig általánosan feltételezték, sőt voltak esetek, amikor az egyenesen nőtt. Levélszinten vizsgálva a kérdést, a növények szárazságtűrése emelt CO_2 mellett fokozódik. Állománszinten azonban a megnőtt LAI-jú növényállomány több vizet fog elpárologtatni és felvenni is. Mindez különösen a már ma is aszályos területek növényzetét érintheti majd súlyosan. Emelt CO_2 mellett a növényekben emelkedik a C/N arány és csökken a N-tartalom. A felborult C/N arány helyreállítása érdekében a növény egyre több anyagot szállít a hajtásból a gyökerekbe, aminek következtében a gyökérszövet volumene egyre növekszik. Részben az előzőekben felsorolt jelenségek képezik az okát annak, hogy vizsgálataink szerint a folyamatosan emelt CO_2 -szinten nevelt termesztett növényeink összprodukciója a korábban ismertnél kisebb lett és jelentősen kisebb mértékben nőtt. A magas CO_2 mellett a beépített nagyobb C-mennyiség ellenére romlik a reprodukatív szervekbe irányuló transzlokáció is, ami akár a szemtermés csökkenéséhez is vezethet. Megnőtt CO_2 -koncentrációnál a természetes növényzet produkcióját is a N-ellátottság szabja meg. Löszgyepállományaink közül csak az eredeti, N-nel bőségesen ellátott állományokban nőtt a föld feletti produkció, a gyengébb N-ellátottságú állományokban viszont egyenesen csökkent. A már említett fehérje-nitrogén és fehérjetartalom csökkenésén kívül emelt CO_2 mellett csökken a más beltartalmi értékkel bíró vegyületek, mint pl. a klorofillok, karotinoidok mennyisége, viszont nő a szénhidráttartalom, fokozódik a rostképződés, és romlik az emészthetőség.

2. Természetes növénytársulások populációdinamikai és stratégiai válaszai az éghajlat felmelegedésére (Borhidi Attila)

A klíma felmelegedésének hatására bekövetkező populáció- és társulásdinamikai változásokat a Mecsek és a Villányi-hegység déli lejtőinek 4 mintaterületén vizsgáltuk sziklagyep–erdőszegély–karsztbokor-erdő ökotonban, különböző korú mészköveken és permi homokkövön, illetve mészkedvelő, olasztölgyes állományban a Misina déli lejtőjén. A vizsgált 4 év során nem a mintaterületek faji összetétele változott meg, hanem a társulásokat alkotó növényi populációk tömegességi viszonyai tolódtak el egymáshoz viszonyítva, éspedig a változások az életformák szintjén következtek be. Két ilyen életforma-eltolódást tapasztaltunk, amelyeket a változás természete szerint terofitizáció, illetve lianizáció néven írtunk le, mint eddig ismeretlen vegetációdinamikai folyamatokat.

A vizsgálatok alapján az alábbi megállapítások tehetők:

1. A klímaváltozás a klímaelemek nem lineáris típusú változásából áll. A klímaelemek változása nem egy irányba és egyszerre hat, hanem mozaikosan, és az egyes évek egymáshoz viszonyítva jelentős ingadozásokat mutatnak.
2. A növényi populációk válaszai is ennek megfelelően rapszodikusak. Az egyévesek populáció dinamikája igen szélsőséges, nagyon érzékenyen követi az egyes évjáratok karakterét.
3. Mindebből következik, hogy az ilyen – típusosan long-term – kutatás csak stabil támogatással végezhető, amelyre a jelenlegi pályázati rendszerek nem alkalmasak.
4. A 4 mintaterületen 4 év alatt lezajlott változások közül két helyen – a lejtősztyepp-bokorerdő, valamint a savanyú alapkőzetű szárazgyep-mészkedvelő bokorerdő komplexben – nem volt észlelhető számottevő, szignifikáns változás.
5. A Tubesen és a Szársomlyón levő mintaterületeken számottevő populációdinamikai változás zajlott le, amely a bioindikációs mérőszámokkal szignifikánsan értékelhető volt.
6. Az észlelt változások nem a társulások faji összetételét érintették, hanem elsősorban a tömegviszonyokat befolyásolták, mégpedig nem annyira a fajok, mint inkább a különböző életformák és stratégiatípusok szintjén.
7. Két különböző stratégiaváltás volt megállapítható, amely a szálerdőben mint liánosodás, a sziklagyepekben pedig mint az egyévesek inváziója, vagyis terofitizáció formájában jelentkezett.
8. A lianizáció folyamata azt jelenti, hogy a társulásokban 30 éve még csak a gypesszintben, kis borítással szereplő fás és lágyszárú kúszónövények tömegessé váltak, áttekertek a cserje- és fatörzsszintre is, és ezzel jelentős mértékben átalakították az állományok belső szerkezetét, anyag- és energiaforgalmát.
9. A terofitizáció folyamata abban nyilvánul meg, hogy a természetes gyepekben az élő növények borítása lecsökken az egyéves fajokéval szemben.

- Megjegyzendő, hogy az egyévesek a terület természetes flórájához tartozó, nem társulásidegen fajok, vagyis a folyamat nem gyomosodás jellegű.
10. Ez a két jelenség, ill. folyamat eddig nem került leírásra a szakirodalomban. Első leírását és a folyamat jellemzését az az angol nyelvű tanulmány tartalmazza, amelyet 1997-ben Svájcban mutattunk be egy a klímaváltozással foglalkozó nemzetközi konferencián, s amelynek anyaga ebben az évben könyvalakban jelenik meg egy svájci kiadónál.
 11. Ugyanezen a rendezvényen számoltunk be a molyhos tölgyes erdőkben regisztrált további újszerű szerkezeti változásról, a geophytizációról is, amely a gypszintben a geofiton életforma tavaszi előretörését jelenti, és mint a mediterrán flóra jellegzetessége, szintén a klíma-felmelegedés hatásának tulajdonítható új jelenségnek tekinthető.
 12. A nálunk megfigyelt és leírt folyamatok komplementer jelenségei azoknak a Dél-Svájcban, Írországbán és Japánban leírt jelenségeknek, amelyek a tájidegen babérlombú örökzöld elemeknek a természetes vegetációba való behatolását jelentik, s amelyeket a szakirodalom laurophyllizáció néven foglal össze.

Gallé László: Természetes szárazföldi élőközösségek ökológiája

Az életközösségek ökológiájának az 1980-as évek közepéig-végéig tartó fellendülése után úgy tűnt, hogy a populációk szintjén vizsgálódó, elsősorban evolúciós és viselkedés-ökológiai kutatások lesznek századunk utolsó évtizedének meghatározó szupraindividuális biológiai diszciplínái. A közösségek ismeretében mutatókozó elméleti hiányosságok és a természetvédelmi gyakorlatnak főleg a biodiverzitás-krízis kapcsán jelentkező igénye azonban nemzetközi szinten újra az érdeklődés homlokterébe állította az életközösségek vizsgálatát. Hazánkban a közösségek kutatásának régi és erős hagyományai vannak, a kialakítandó hálózat lehetőségeit felhasználva, ezt a lépéselőnyünket meg kell őrizni. Az MTA Ökológiai Bizottsága állásfoglalása alapján az életközösségek tanulmányozásának legfontosabb prioritásai – a klasszikus periódusban összegyűlt adatok új szemléletű feldolgozása; a vegetáció nagyléptékű felmérése; adatbázisok kimunkálása; „long-term” projektek beindítása; a Juhász-Nagy-módszer modelljeinek tesztelése és továbbfejlesztése; társulásdinamikai (primer, szekunder szukceszció, degradáció) folyamatok vizsgálata; nagy tér-idő léptékű kutatások, elemi és nem elemi interakciók mechanizmusainak tanulmányozása, koalíciós (pl. guild) szerkezet feltárása, a metaközösségek tanulmányozása, valamint az egyensúlyi és nem egyensúlyi dinamikák – egyaránt helyet kaptak a Kelet-közép-európai Ökológiai Kutatóhálózat prioritásai között. Egy 364 közleményre kiterjedő mini-review alapján körvonalazhatók azon területek, amelyek a nemzetközi szinten az ökológiai kutatások érdeklődésének középpontjában állnak, és vizsgálható azok megfelelése a kutatóhálózat célkitűzéseinek. Igen jó fedést találunk a nemzetközi szinten legfrekvenciáltabb témákkal (szerkezet, diverzitás, diszturbancia), de

feltűnő, hogy nem egy hiányterület kutatását is felvállaltuk. Ilyenek: a mutualizmus, a társulások témintázata, a szerveződés, stabilitás, equilibrium kérdéskörei, a skálázás problémája és a vegetációtérképek készítése.

A teresztris természet-közeli életközösségek ilyen komplex szemléletű tanulmányozása mind anyagi, mind pedig szellemi téren jelentős ráfordítást igényel. Feladataink elvégzése ezért kooperációs alapon nyugvó kutatási stratégiát kíván nemcsak országos, hanem regionális szinten is.

Kozár Ferenc: A fenntartható mező- és erdőgazdaság ökológiai alapjai (növényvédelmi szempontból)

A jövő mező- és erdőgazdaságának egyre inkább a fenntartható ökoszisztémák keretei között folyó termelésen kell alapulnia. Ez valójában egy ökológiai optimalizációs rendszer. A mezőgazdasági természetben maximálisan érvényre kell jutniuk a természetes életközösségekben működő ökológiai törvényszerűségeknek, miközben minimális a környezetkárosítás és -szennyezés, de a lehetőségekhez mérten maximális a produkció. Ezeknek az ökológiai rendszereknek életközösségei sokkal diverzebbek, és fajgazdag rovaregyüttesek kötődnek hozzájuk. Az új típusú, természetközeli agro-ökoszisztémák állatközösségeinek kutatása, kártevő-problémáik környezetbarát megoldásának kérdése új kihívásokat jelent a rovarökológus és a növényvédő számára.

A környezetbarát növényvédelmi eljárások ökológiai kutatásának főbb irányai:

- a jelenlegi növényvédelmi gyakorlat életközösségekre gyakorolt hatásainak elemzése, különös tekintettel a hasznos ízeltlábú állatokra;
- új típusú szelektív növényvédő szerek (feromonok, hormonok, táplálkozás-és tojásrakásgátlók stb.) fejlesztése és környezeti hatásainak elemzése;
- biológiai védekezésre alkalmas ágensek (ízeltlábúak, gombák stb.) felderítése, különös tekintettel az inváziós károsítók és allergén növények leküzdésére;
- környezetkímélő, integrált védekezési technológiák fejlesztése;
- vegyszertakarékos kémiai növényvédelemhez, kártevők felderítéséhez új előrejelzési technikák (feromonok, csapdák stb.) kifejlesztése;
- a jelenlegi növényvédelmi gyakorlat ökotoxikológiai elemzése;
- az újabb növényvédelmi problémák okainak feltárása és javaslattétel a megoldásokra.

E sokféle feladatból itt csak 3 témakör eredményeit mutatjuk be.

1. Agrárterületek élőközösségeinek és fenntartható használatának kutatása

Agro-ökoszisztéma-kutatások

Almásokban 1759 ízeltlábú fajt sikerült meghatározni. Ezek jelentősebb része az aeroentomofaunából ered. A fajok másik nagy része a koronában található, de a tájfauna is gazdag. Mivel a teljes anyagot nem sikerült meghatározni, így különböző becslések születtek az almásokban ténylegesen várható összes ízeltlábú-fajszámot illetően. Kozár (1992) 3000-re becsülte a várható fajszámot, míg Markó (1998), más megközelítési szempontok alapján, már 9000 feletti várható fajszámról ad számot. Ez az utóbbi érték magasabb, mint amit eddig bármelyik nemzeti parkból, intenzív munkával sikerült kimutatni. Ebből a fő következtetés az, hogy az agrárterületek is gazdag biocönózissal rendelkeznek, és szoros kölcsönhatásban vannak a természetes biocönózisokkal. Figyelembe véve az aeroentomofauna lényeges szerepét az agro-biocönózisok felépítésében, valamint azt a tényt, hogy az ország területének mintegy 70%-a a mezőgazdaság által befolyásolt, megállapítható, hogy pl. a gyümölcsösök a legszorosabb kapcsolatokat az egyéb agrárterületekkel mutatják, de kapcsolatban állnak természetközeli területekkel is. A hasznos rovarok betelepülését azonban – megfelelő számban – csak a szomszédos agrárterületekről várhatjuk, de ehhez idő kell, hogy ott környezetkímélő növényvédelmet folytathassunk.

Közösségszerkezeti vizsgálatok

A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy az almásokban előforduló aknázómolyok és parazitoidjaik a diverzebb környezetből települnek be a gyümölcsösökbe. A fitofág-zoofág kapcsolatokat elemezve, elkészítettük a legfontosabb aknázómolyokra vonatkozó tápláléklánc modelljét. A növény-kártevő-parazitoid-hiperparazitoid kapcsolatok alapján megállapítottuk, hogy a gazdaváltás általában az oligofág ektoparazitoidok esetében a leggyorsabb, őket követik az endoparazitoidok, majd a polifág fajok. Mivel az agro-ökoszisztémákban gyakoribb az egyes kártevő fajok, csoportok egymást váltása, mint a természetes ökoszisztémákban, ezért különösen jelentős szerepük van azoknak a parazitoid fajoknak, amelyek könnyen átválnak egyik gazdaállatukról a másikra. Ezeknek a parazitoidoknak a tevékenységét szelektív növényvédelmi technológia alkalmazásával sikerült fenntartani az almásokban (Jenser et al., 1997).

A polifág ragadozócsoporthoz, mint a pókok, eddig az agrár- és természetvédelmi területekről 385 fajt mutattunk ki. Az alkalmazott kézi motoros rovarszippantóval a tudományra és a hazai faunára is új fajokat sikerült kimutatni. Ezt a módszert a jelölés-visszafogásos módszer segítségével kalibráltuk és ellenőriztük. Több faj esetében megállapítottuk, hogy szorosan kötődnek az agrárterületekhez, és csak viszonylag kis távolságra vándorolnak el (Samu et al., 1996).

A fitofág és zoofág atkák kapcsolatát vizsgálva kimutattuk, hogy a széles hatásspektrumú inszekticidekkel kezelt területeken csak fitofág atkafajok voltak. Szelektív szerek alkalmazása esetén már az első évben megjelentek a ragadozó atkák, és a második évben a fitofág atkák egyedszáma a kártételi küszöb alá süllyedt. A későbbiek során kialakult egy olyan összetett atkaközösség, amelyben kis egyedszámban valamennyi káros és hasznos faj fennmaradása biztosított volt, de a fitofág fajok káros mértékben nem tudtak elszaporodni (Jenser et al., 1996).

Monitoring

A klímaváltozásoknak a rovarok terjedésére gyakorolt hatásait különböző csapdázási módszerek alkalmazásával vizsgáltuk. Ennek során megállapítottuk, hogy újabb melegkedvelő rovarfajok jelentek meg faunánkban, de egyes mediterrán rovarfajok (pl. a *Ceratitis capitata* vagy a *Helicoverpa armigera*) századunkban csak akkor tudtak megtelepedni és kárt okozni, amikor az átlagosnál melegebb nyarak voltak (Kozár, 1997).

Fontos kutatási irány az agroökológiában a különböző rovarcsapdák (fénycsapda, szívócsapda stb.) hosszú távú adatainak elemzése is. A fénycsapdák üzemeltetése hazánkban az 1950-es évekig nyúlik vissza. Az összegyűlt milliós adattömegek lehetőséget adnak a kártevők és hasznos rovarok előrejelzésén kívül olyan elméleti kérdések vizsgálatára, mint a populációdinamikai változások és azok okai, közösségszerkezeti elemzések, términtázati elemzések, monitorozás stb. A barnafátyolkák esetében nemzetközi együttműködés keretében jelentős fenológiai eltéréseket figyelhettünk meg a különböző országokban a rajzás időpontjait és tartamát tekintve (Szentkirályi, 1992).

A Rothamstead típusú szívócsapdát a levéltetvek távolsági repülésének követésére alkalmaztuk, amelynek hatókörzete 100 km. A levéltetvek 30%-át a gabona-levéltetvek tették ki. Ezek fajösszetétele és egyedszáma évente jelentősen ingadozott. Figyelemre méltó az orosz búzalevéltetű számának növekedése, azt követően, hogy e faj hazánkból először csak 1990-ben került elő (Baksy, 1995).

2. Természetes és agrár-ökoszisztémák különböző trofikus szintjein élő ízeltlábú állatok viselkedés-ökológiai kutatása

Ezek a kutatások is több irányban folynak. Legintenzívebben a rovarok nemi csalogatóanyagait, a feromonokat, azok szerepét és felhasználási lehetőségeit vizsgáltuk különböző kártevő és hasznos rovarcsoportokban (Tóth és Szócs, 1993). Vizsgálataink burgonyabogarak és más kártevők esetében kiterjednek más ingerforrások, mint a vizuális (szín és forma) vagy a tápnövényből eredő illatanyagok tanulmányozására is (Jermy et al., 1988, Szentesi et al., 1996).

A ribizkeszítkár esetében a korábbi és a jelenlegi vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy az európai és az észak-amerikai populációk feromon-összetétele,

a rovarok reakciója nem tér el, mert feltehetően hozzájuk is az európai populációt hurcolták be (Szócs et al., 1998). Viszont a Tasmaniában talált populáció ettől eltér, aminek okát még tovább kell vizsgálni.

3. Ökofiziológiai és ökotoxikológiai kutatások

A kutatások egyik iránya a jelenleg forgalomban levő készítmények alaposabb és kritikusabb ökotoxikológiai elemzése. Ennek során megállapítottuk, hogy az alkalmazott főbb rovarölőszer-csoportokból előállított készítmények jelentős része okozhat bizonyos toxikológiai problémákat. A hagyományos szercsoportok közül a foszforsavészterek között van néhány, amellyel kevesebb a probléma. Legkedvezőbbnek az új típusú, a fejlődést és reprodukciót zavaró anyagok (IDRD) és a rovarviselkedést befolyásoló anyagok csoportja mutatkozik, ahol a legnagyobb a problémamentes készítmények aránya (Darvas, 1998).

Összefoglalás

Mint látható, a rovar-ökológiai kutatások nagyon különböző irányokban folynak, és ez jelentős szellemi és pénzügyi forrásokat igényel. Példaként megemlíthető, hogy Észak-Amerikában kb. ugyanannyi rovarcsoport él, mint Magyarországon, míg a hazánkban ismert kb. 40 000 faj száma is megközelíti az amerikai fajok felét. Ebből következik, hogy a kis létszámú hazai rovar-tani kutatóra rendkívül nagy feladat hárul. Ebben egy koordinált, jól finanszírozott hazai és nemzetközi ökológiai hálózat jelentős segítséget nyújthat.

Néhány újabb kihívás: A biotechnológia térhódítása során génmanipulált növényfajokat, fajtákat vezetnek be. Ezeknek növényvédelmi, környezetvédelmi és ökológiai hatásairól keveset tudunk. Az utóbbi időben egyre nagyobb teret hódít a biotermesztés. Itt fontos lenne a rovar-tani szempontból a tudományos alapok megteremtése. Újabb és újabb környezetkímélő vegyszerek és technológiák kidolgozására van szükség, ami rendkívül költséges és időigényes. Az ökológiai növényvédelem továbbfejlesztéséhez azonban sokkal több információra van szükség az agrárterületek életközösségeiről és azoknak a természetes területekkel való kölcsönhatásairól.

Irodalom

- Baksy, Zs. 1995: *Diuraphis noxia* and other cereal aphids in Hungary. *J. Aphidology*, 5 1–8.
- Jenser, G., Balázs, K., Erdélyi, Cs., Haltrich, A., Kozár, F., Markó, V., Rác, V., Samu, F., 1997: The effect of an integrated pest management program on the Arthropod populations in a Hungarian apple orchard. *Hort. Sci.*, 24 63–76.
- Jermay, T., Szentesi, Á., Horváth, J. 1998: Host plant finding in phytophagous insects: the case of the Colorado potato beetle. *Entomol. Exp. Appl.*, 49 83–98.

- Kozár, F. 1992: Organization of Arthropod communities in agroecosystems. *Acta Phytopath. et Entom. Hung.*, 27 365–373.
- Kozár, F. 1997: Insects in a Changing World. *Acta Phytopath. et Entom. Hung.*, 32 129–139.
- Markó, V. 1998: *Coleoptera együttesek szűnzőológiai vizsgálata gyümölcsösökben*. Kandidátusi értekezés tézisei. KÉE, Rovartani Tanszék, Budapest, 20.
- Samu, F., Vörös G., Botos, E. 1996: Diversity and community structure of spiders of alfalfa fields and grassy field margins in South Hungary. *Acta Phytopath. et Entom. Hung.*, 31 253–266.
- Szentesi, Á., Hopkins, T. L., Collins, R. D. 1996: Orientation responses of the grasshopper, *Melanophus sanguinipes*, to visual, olfactory and wind stimuli, and their combinations. *Entom. Exp. Appl.*, 80 539–549.
- Szentkirályi, F. 1992: Spatio-temporal patterns of brown lacewings based on Hungarian light trap network (Insecta: Neuroptera: Hemerobiidae). In: Canard, M., Aspöck, H. and Mansell, M. W. (eds.): *Current research in Neuropterology*, Toulouse, 349–357.
- Szöcs, G., Henderson, D., McNeil J. 1998: Old World pheromone strain in the New World sexattractant composition for the currant borer *Synanthedon tipuliformis* Cl., (Lepidoptera: Sesiidae) in Canada. *Canad. Entomol.* (in press)
- Tóth, M., Szöcs, G. 1993: Feromonkutatásaink másfél évtizede az MTA Növényvédelmi Kutatóintézetben. *Növényvédelem*, 29 101–109.

Berczik Árpád: Áramló vizeink ökológiai kutatása – hazai feladataink

Az áramló vizek sajátosságai

Az áramló vizek kutatása az állóvizekétől még ma is messze elmarad, amelynek döntően módszertani és módszerelméleti okai vannak. Csupán az igen egyszerű különbségek átgondolása is elegendő ennek alátámasztására.

Alapvető *dinamikai* különbség, hogy míg a tavak vize – még ha kicserélődik is – lényegében a mederben tartózkodó állóvíz, addig az áramló vizek vize szinte folyamatosan tovahalad.

A tavak egy szinten és nagyrészt *geológiai, geográfiai* tekintetben azonos jellegű területen foglalnak helyet, a folyók geológiai, geográfiai tekintetben igen eltérő térségeken haladnak keresztül, gyakran jelentősen eltérő tengerszint feletti magasságban.

Makro- és mezoklimatikus vonatkozásban egy-egy tó általában közel azonos jellegű területen helyezkedik el, a folyók igen eltérő klímavidékeken foglalhatnak helyet.

A *morfológiai jellemzők* különbözősége igen nagy: a tavak jellegzetes (inkább kerekded) megjelenésével és gyakran jelentős vízmélységével szemben a vonalas kiterjedésű folyók gyakran ágas-bogas vízrendszerekkel hálózják be vízgyűjtő területüket, általában kisebb mélységűek.

A tavak *vízjárása* (vízszintingadozása) lényegesen kisebb, mint az áramló vizeké. A tavak túlnyomó többségében a szerves anyag autochton, az áramló vizekben viszont jelentős mértékben allochton eredetű.

A víz *oldati állapotát* illetően a tavakban lejátszódó folyamatok a meghatározók, a folyókban, különösen egy jelentősebb vízrendszer vezértengelyén jól érzékelhetően, az előbbieken jellemzett sokféle területről és eltérő mennyiségekben beömlő mellékvizek összegződése, majd ezek egymásra hatásai a meghatározók, a tovahaladó, újra és újra más hatás alá kerülő víztestben.

Fentiekből érzékelhető, hogy az *áramló vizek, vízrendszerek időben és térben dinamikusan változó, sokváltozós rendszerek*, amelynek létviszonyait, élőközösségeit, ezek kölcsönhatásait feltárni igen nehéz, különösen, ha végül is az anyag-, ill. energiaforgalom folyamatait, összefüggéseit is meg kívánjuk ismerni.

Soron lévő hazai feladatok

Ismeretes, hogy a *Duna és a Tisza* hidrobiológiai kutatása (jelentős mértékben MTA-támogatással) aránytalanul kis kapacitással, de négy évtizede rendszeresen folyik, éspedig eredményesen. Több más folyónk (Dráva, Ipoly, Sajó stb.) hidrobiológiai feltárásában is jelentős eredmények születtek. A megismert hosszú idejű változási folyamatok értékelése nem „csak” tudományos érdek. Az emberi beavatkozások (új jellegű szennyezőanyagok megjelenése, szennyvíztisztítók építése, folyószabályozás, vízepítés) időről időre új vizsgálati szempontokat kívánnak meg. Nem eléggé becsült és vizsgált a folyók öntisztító képessége, amely pedig nemzetgazdasági érték.

Jelentős aktualitás a *természet- és tájvédelem* szempontjából előtérbe került, az áramló vizek hatása alatt álló *ártéri területek* (biodiverzitás!), *holtágak* hidrobiológiai kutatása, amely úgyszólván kezdeti stádiumban van. E vízterületek feltárása, fenntartása, ill. rehabilitációja, esetleges hasznosítása a hidrobiológiai alapállapot feltárása nélkül lehetetlen.

Hazai *kisvízfolyásaink* (patakjaink és forrásaik) rohamosan pusztuló részei felszíni vízkincsünknek, rendkívül gazdag sajátos élőhelyek, együttesek nagyfokú sérülékenységgel, a rohamosan fokozódó területhasználat károsultjai. Az ország egyes részein értékes kutatási előzmények, évtizedes romlási folyamatokat is tükröző adatsorok. Átfogó kutatási program és támogatás nincs. Elodázhatatlan az alapállapot-feltárás, értékmentés, rehabilitáció, a szabályozási irányelvek és intézkedések.

A hidrobiológia egész történetére jellemző az alkalmazással, a *gyakorlattal való élő kapcsolat*. Ezért hangsúlyozni szükséges, hogy a hidrobiológiában nem elegendő csak a gyakorlati vízgazdálkodás, vízminőség-védelem paramétereivel dolgozni (adatbankra, határértékekre, monitoringra, modellezésre stb. támaszkodva), mert ezeknek is teljes körű, korszerű tudományos vizsgálódáson kell felépülniük.

Herodek Sándor: Tavak és vizes területek ökológiája

A 19. század Kelet-Közép-Európában a nagy lecsapolások korszaka volt. Mi nemcsak az Alföldet szárítottuk ki, talán túlságosan is, hanem ekkor vesztette el a Balaton vízkészletének a felét, és futott ki a víz zöme a Kis-Balatonból. Századunk utolsó harmada a környezetvédelmileg fejlettebb országokban a vizes élőhelyek rekonstrukciójának kora, miközben tapasztalhatjuk, mennyivel nehezebb valamit helyreállítani, mint lecsapolni.

A jövőben a lecsapolás helyett főként a klímaváltozás miatti kiszáradás veszélyeztetheti tavainkat és mocsarainkat. Kelet-Közép-Európára a sekély tavak jellemzőek. Az egyetlen igazán nagy tó itt a 3,5 m átlagos mélységű Balaton, a Fertő tó ennél is sekélyebb. Sekélyek a vizekben gazdag lengyel síkság tavai is. A Kárpátok aljában nincsenek akkora mély tavak, mint az Alpokéban.

A sekély tavak esetében 1-2 méteres vízszintcsökkenés sokkal nagyobb veszélyt jelent, mint a mély tavaknál. A Velencei-tavat néhány éve gyors vízügyi beavatkozás mentette csak meg, de volt olyan év, hogy a Balaton is a lefolyástalan tavak közé sorolt. A sekély tavak azért érzékenyebbek a klímaváltozásra, mert kisebb a hőkapacitásuk. A Bodentó télen nem fagy be, nyáron pedig csak 16 °C-ra melegszik. A Balatont télen 30 cm vastag jég fedi, kánikulában pedig 28 °C-ra is felmelegszik. Az igazi nagy vízvirágzások olyankor vannak, amikor tartósan 24 °C fölött van a vízhőmérséklet. A meleg nemcsak a kéalgák és különösen a szubtrópusi eredetű, eddig a legnagyobb bajokat okozó *Cylindrospermopsis raciborskii* szaporodásának kedvez, hanem felgyorsítja az üledék tápanyagleadását is.

A megnövekedett UV-B sugárzás a vízoszlop nagyobb hányadát járja át sekély tavakban, mint a mélyekben.

A gondok másik csoportját a szennyezések jelentik. Az egyre növekvő városokban a nem megfelelően elhelyezett ürülék hatalmas kolerajárványokhoz vezetett. Amikor felfedezték ennek okát, hamarosan bevezették a vízöblítést. Az élővizekbe jutó nagy tömegű bomló szerves anyag oxigénhiányhoz, halpusztuláshoz és ahhoz a kellemetlen tünetegyütteshez vezetett, amit szaprobitásnak nevezünk. Megoldásként a biológiai szennyvíztisztítás ajánlkozott, a szennyvizet medencékbe vezetik, amelyekben baktériumokkal lebontatják a szerves anyag zömét.

Az 1960-as évektől azután a vízminőség romlásának másik fajtája vált általánossá, amelyet eutrofizálódásnak nevezünk. Ha csak biológiailag tisztítjuk a szennyvizet, a bomló szerves anyagból felszabaduló növényi tápsók továbbra is a vízbe jutnak, ahol ezt az algák saját szerves anyagukba építik, és tömegesen elszaporodnak. Gazdag tápanyagforrás az algák számára a mezőgazdasági területekről bemosódó műtrágya is.

Az algásodás baj, hiszen az algák kiülednek, és bomlásuk ott fogyaszt oxigént, ahová pont az algák árnyékoló hatása miatt már nem jut le a fotoszintézishez, tehát az oxigéntermeléshez elegendő fény. Néhány, az új viszonyokhoz alkalmazkodó algafaj kiszoríthatja a többit. A Balatonban is előfordult már, hogy

egyetlen faj tette ki a plankton tömegének több mint 99%-át, azaz ugyancsak csökkentette a sokat emlegetett biodiverzitást.

A fürdőzőket elsősorban a víz átlátszóságának (tisztaságának) elvesztése zavarja. Ha a klorofilltartalom, amely az algák mennyiségét jellemzi, eléri a köbméterenkénti 40 mg-ot, a víz már láthatóan színes, 100 mg-nál kezdenek vonakodni a fürdőzők, és 200 mg-nál már nem mennek be a vízbe. Egyes algafajok toxinokat termelhetnek. Ezek a fürdőzőknél kellemetlen tüneteket okoznak, eltávolításuk pedig nagyon megdrágítja az ivóvízgyártást.

Az OECD az 1970-es években indította be az eutrofizálódás kutatási programját. Egyik csoport az alpesi, másik a skandináv, harmadik az észak-amerikai tavakat, a negyedik a víztározókat vizsgálta. 1982-ben készült el a jelentésük, amelyik statisztikus összefüggést állapított meg a tavak tápanyagterhelése és algásodása között, nagyban előmozdítva ezzel a tavak védelmét.

A Balaton esetében az 1960-as évek elején Böszörményi és munkatársai a C-14 módszerrel még mindenütt viszonylag alacsony, mezotróf szintű elsődleges termelést mértek. Mi a '70-es években Tihanynál kétszer, Szemesnél háromszor, Szigligetnél négyszer, Keszthelynél nyolcszor nagyobb fitoplankton-produkciót találtunk. Ez hívta fel a figyelmet a rohamos eutrofizálódásra, a védekezés sürgősségére. Kimutattuk, hogy a fitoplankton szervesanyag-termelését alapvetően a foszforutánpótlás mértéke korlátozza, tehát a foszforterhelés visszaszorításától lehet a Balaton vízminőségének javulását várni. 1975-ben beindult a tó foszforterhelésének rendszeres monitorozása. 1978-ban elértük, hogy a Nemzetközi Alkalmazott Rendszerelemzési Intézet a Balatont válassza a sekély tavi eutrofizálódás modellezésének mintaterületévé.

A modellezéssel kölcsönhatásban fejlesztjük tovább a tó anyagforgalmának kutatását, vizsgáljuk a fitoplankton foszfor- és nitrogénfelvételt, a szerves anyagok bakteriális lebontását a vízben és az üledékben, az üledék tápanyag-raktározását, és próbálunk válaszolni arra, hogyan reagál a sekély tó a tápanyagterhelés változtatására.

A sekély tó alapvető tulajdonságának az látszik, hogy itt a tápanyagok nem a vízben, hanem az üledékben halmozódnak fel, és a vízzel élénken érintkező üledékből származó belső terhelés évekig késleltetheti a vízminőség javulását.

1982 óta a Magyar Tudományos Akadémia ötévente ajánlásokat készít a kormány részére, megjelölve a Balaton vízminőségére kitűzhető célokat és az ahhoz szükséges intézkedéseket. Eddig a foszforterhelést 40%-kal sikerült csökkenteni, de további csökkentési javaslatunk főként a szennyvíztisztítóknál a foszforeltávolítás hatásfokának növelése és a földművelésből származó terhelés visszafogása.

A kémiai szennyezés okozta másik nagy probléma a savanyodás. Ez nálunk szerencsére nem olyan gond, mint Skandináviában vagy Kanadában. Savas esőnk nekünk is van, de a vizeink zömmel vagy meszesek, vagy szikesek, így ellenállnak a savasodásnak.

Gondot jelentenek viszont az ipari, mezőgazdasági és egyéb eredetű mérgező anyagok. A mezőgazdaságból bemosódó peszticidek okozhatták az 1965-ös és 1975-ös halpusztulásokat.

A bajok további csoportját a betelepített vagy behurcolt idegen fajok alkotják. A kettő együtt a leghatásosabb. A Balatonba 1963 óta telepítették a közönséges angolna ivadékát, majd 1990-ben behurcolták a japán angolna parazitáját. Ez alaposan hozzájárulhatott az 1991. évi hatalmas angolnapusztuláshoz.

A kelet-közép-európai országokkal közös problémánk lehet az is, milyen gazdasági, jogi, intézményi eszközökkel lehetne megvédeni tavainkat a túlzott körülépítéstől, hogyan lehetne a tó körül zöld övezetet hagyni.

Ha a régió tavaira és mocsaira védelmi tervet akarunk készíteni, azt felméréssel kellene kezdeni, amiből kb. olyan összeállítás lenne, amelyet a Nemzetközi Tóvédelmi Bizottság a Föld nagy tavairól készített. Ebbe természetesen mi sokkal kisebb vizeket is belevennénk.

Megadnánk a tó vagy mocsár helyét, morfológiai, hidrológiai, kémiai és biológiai jellemzőit, a vízgyűjtő méretét, domborzatának geológiájának, talajának, növényzetének, mezőgazdaságának, iparának, lakosságának adatait, a kutatásra vonatkozó főbb irodalmat, a vízért felelős szervezet nevét, a környezeti probléma leírását. Ebből azután kitűnik az adathiány, s hogy mik a legfőbb kutatnivalók. Idén a hazai vizek felméréseivel szeretnénk kezdeni, azután hatolnánk a határon kívülre.

A másik ágon folytatjuk a kutatómunkát, exportálva a Balatonnál szerzett tapasztalatokat és importálva azt a tudást, amelyre szükségünk van.

Borhidi Attila: Ökológiai Központ és Hálózat: szervezet, működés, finanszírozás

Az MTA elnöke 1996-os hivatalba lépése után nyomban áttekintést készített a tudományterületek hazai és akadémiai helyzetéről, és arra a megállapításra jutott, hogy az EU-csatlakozás szempontjából kulcsfontosságú környezettudományi kutatások – és ezen belül az ökológia különösen is – elmaradott helyzetben vannak, amit az akadémiai konszolidáció keretében korrigálni kell. Jermy Tibor akadémikus kapott felkérést arra, hogy a hazai ökológia helyzetéről és a legfontosabb fejlesztési teendőiről rövid tanulmányt készítsen, azzal a távlati célkitűzéssel, hogy – az ország központi helyzetét kihasználva – a hazai ökológia a kelet-közép-európai környezettudományi kutatások központjává váljék. A feladat megoldására Jermy akadémikus Borhidi Attila, Fekete Gábor és Láng Edit bevonásával egy négytagú szerkesztőbizottságot alakított, az MTA Biológiai Tudományok Osztálya pedig a jelen beszámoló készítőjének elnökletével egy tíztagú bizottságot jelölt ki a feladat végrehajtásának szakmai támogatására. A felmérés kimutatta, hogy az ökológiai kutatások hatékonyságának legfontosabb akadályai:

1. A kutatógárda alacsony létszáma és rendkívüli széttagoltsága. (A mintegy 200 aktív kutató több mint 50 munkahelyen oszlik meg.)
2. Az ökológiában alapvető fontosságú hosszú távú (long-term) kutatások finanszírozásának megoldatlansága.

Ahhoz, hogy a hazai ökológia regionális központi feladatok ellátására alkalmassá váljék, először a hazai kutatóhelyek munkáját kell koordinálhatóvá tenni, amit egy hazai Ökológiai Központ és egy hozzá tematikailag kapcsolódó kutatási Hálózat tudna ellátni. A Központ 4 akadémiai intézményből állna: MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet, Vácrátót, MTA Magyar Duna-kutató Állomás, Göd, MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany, és MTA Növényvédelmi Kutatóintézet, Budapest, (elsősorban annak Állattani Osztálya, Júlia-major). A 4 intézmény vezetői 1998 áprilisában megállapodtak a Központ létrehozásában, működésének adminisztratív és pénzügyi feltételeiben. A Központ adminisztratív vezetése 3 évre az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézetében van. Erre a Központra egy tematikai finanszírozás keretében kapcsolódnak a Hálózat egységei, amelyek száma a tematikai felmérések során több mint 60 munkahelyet jelent, s amelyek pályázati rendszerben, megadott témákban, megadott időtartamra kapcsolódnak a Központhoz. A támogatandó témák megjelölése céljából teljes országos felmérést készítettünk, amelyre 42 témajavaslat érkezett. Ezeket 7 témakörbe csoportosítottuk, majd megvalósításukra a rendelkezésre bocsátott keretből pályázatot írtunk ki.

Milyen keretek álltak rendelkezésünkre?

A Központ létesítése és működtetése céljából az MTA elnöke 1997-ben 30 millió forintos beruházással 15 korszerűen felszerelt munkahely létesítését kezdte meg a Vácrátóti Kutatóintézetben, amelyet 1998. november 16-án adnak át. 1998 január elsejével pedig az elnök 13 millió forintos kerettel 3 adminisztratív és 5 fiatal kutatói munkakörre adott 3 évre szóló pénzügyi keretet az Ökológiai Központ működtetése céljából. További 20 millió forint stratégiai kutatási keret lett előirányozva 1998-ra a Központot alkotó 4 intézmény szakmai és technikai megerősítésére.

A Hálózat tematikai működtetésére és különösen a hosszú távú kutatások támogatására fordítódott az MTA és a KTM két évre kötött 100-100 millió forintos kutatási egyezményének keretén belül a „Kelet-közép-európai Természetvédelmi Kutatóközpont” elnevezésű program 20-20 millió forintos keretösszege. Ebből 1997-ben pályázati rendszer keretében 20 kutatási témát, valamint a központi információs rendszer kiépítését finanszíroztuk. Az 1998-as pályázati kiírás keretében már a témák számát csökkentettük, és a hálózati működést elősegítő integrált long-term témákat priorizáltuk. Ennek keretében már csak 14 téma, viszont ezen belül 32 munkahely kapott összehangolt kutatásokra anyagi támogatást.

Úgy tűnik, hogy a long-term kutatások ilyen formájú finanszírozása hosszú távon megoldható lenne, ha sikerülne az MTA-KTM szerződést a jövőben folyamatossá tenni. Ha ez nem történik meg, vagy nem sikerül ezzel egyenértékű más folyamatos támogatási formát biztosítani, akkor ez a nagyszerű kezdeményezés csupán sokat ígérő kísérlet marad.

Végül: mi a helyzet a Kelet-közép-európai Központtal? Ebben is születtek jelentős előrelépések, amelyek arra utalnak, hogy komoly esélyünk van egy Délkelet-közép-európai Ökológiai Központ szerepének elnyerésére. Tudomásul kell azonban vennünk azt a tényt, hogy ennek időpontja éppúgy nem a mi elhárításunktól függ, mint az EU-csatlakozásé. Biztató jel, hogy a kárpát-balkáni

társág országai közül egyedül Magyarország tagja az International Long Term Ecological Research Networknek, még hozzá 3 ökológiai állomással (Balaton-MTA BLKI, Tihany, Síkfőkút-Debrecen, KLTE Ökológiai Intézet, Kiskun-projekt-MTA ÖBKI, Vácrátót, lásd Kovácsné Láng Edit előadását). A nemzetközi szervezet elnöke ez év szeptemberében látogatja meg az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézetét, ahol többek között az intézet ilyen irányú szerepének alkalmassága lesz a vizsgálat tárgya. A szervezet már 1995-ben Magyarországon tartotta éves közgyűlését, 1999-ben „A Tudomány Világkonferenciája” rendezvényhez kapcsolódva ismét Budapesten tartja soron következő ülészakát.

GAZDASÁG- ÉS JOGTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A MAGYAR TÁRSADALOMTUDOMÁNYOK VÁLASZA A SZÁZADVÉG KIHÍVÁSÁIRA

A globalizáció és a társadalomtudományok

A tudomány nem azonos az empirikus kutatásokból vagy az előgyártott absztrakt elméleti modellekből levont következtetésekkel, sem pedig a gyakorlat tapasztalati általánosításával. Fejlődésének és felfedezéseinek folyamata az elméletekkel, a valósággal és önmagával történő állandó szembesítések és összeütközések sorozata. Ezek vezetnek rendszerint a természet és a társadalom lényeges jelenségeinek és változásainak mélyebb megértéséhez. E tekintetben a társadalomtudományok és a természettudományok nem különböznek. A kritikus hozzáállás és a valósággal történő szembesítés különösen lényeges követelmények a társadalomtudományok számára, amelyek állandóan ki vannak téve az apologetika veszélyeinek, tekintettel társadalmi beágyazottságukra. A társadalomtudományok számára is igen fontos útmutatássá vált ugyanakkor Szent-Györgyi Albert egyik megjegyzése a természetre vonatkozóan, miszerint ha értelmes kérdéseket teszünk fel a természetnek, rendszerint értelmes válaszokat is kapunk.

Diszciplínák és paradigmák

A 20. század végén sokan marasztalják el a társadalomtudományokat azért, mert sem átfogó konstruktív és új kritikát nem adnak a mai társadalmakról, sem meggyőző és elfogadható javaslatokat és alternatívákat nem tudnak ajánlani lényeges problémáik megoldására. Ennek okait egyesek a különböző, ma létező iskolák, irányzatok gyengeségeiben, az egyes tudományterületek túlzott diszciplináris elzárkózottságában és korlátozottságában látják. Más vélemények szerint a társadalomtudományok a paradigmaváltás szakában vannak.¹

¹ A paradigma fogalmát a tudományos világban, mint ismeretes, Thomas Kuhn neves tudománytörténész vezette be, aki e kategóriát valamely adott tudományterület szempontjából olyan új felfedezésnek tekintette, amelyik meghatározza a kutatások irányát, kereteit és határait. A paradigma e nézetkör szerint válságba kerülhet, ha a tu-

Nem kevés társadalomtudós vallja azt a nézetet közvetlenül vagy közvetve, hogy a globalizáció az új paradigma, amely körül fel kell majd épülnie az adott tudományok új elemzéseinek, javaslatainak.² Sokak szerint ez a paradigma, amelynek fogalma sem tisztázott kellőképpen, váltja fel azt a társadalomtudományokban általánossá vált koncepciót, amelyik a társadalmak problémáinak elszigetelt állami egységek keretében zajló folyamatok elemzésére épült. E tanulmány keretében egyrészt arra a kérdésre igyekszem választ keresni, hogy indokolt-e a globalizációs folyamatot centrális paradigmaként kikiáltani, másrészt igyekszem megvilágítani, hogy e folyamat milyen változásokat eredményez vagy igényel a társadalomtudományi kutatások tematikájában és módszereiben.

A globalizáció fogalma egyébként nem a társadalomtudományok „találmánya”. Az újságírás, az üzleti élet és a politika szakzsargonjában született, s minden valószínűség szerint a globális problémák fogalmával kapcsolatban került be először a tudományok szótárába. A társadalomtudományok egyébként gyakran vesznek át és használnak olyan fogalmakat, amelyek kezdetben nem eléggé tisztázottak, nehezen értelmezhetők, többdimenziósak, nemegyszer vitatottak, és a köd körülöttük csak lassan tisztul. Az új paradigmának szánt globalizáció fogalmáról és jelentőségéről továbbra is vita folyik. Könyvek, folyóiratcikkek tucatjai jelentek meg a témáról csupán az elmúlt 2-3 évben a nemzetközi szakirodalomban. Ezek igen sok területen járultak hozzá a globalizációs folyamat különböző oldalainak és összefüggéseinek megvilágításához. Szerzőik azonban ritkán vitatkoznak egymással. A résztvevők rendszerint egy adott diszciplína keretében maradnak (politológia, szociológia, közgazdaság-tudomány, jog), s ezen belül is valamelyik új vagy hagyományos elméleti bázisról kiindulva igyekeznek magyarázatot adni a fogalomra, illetve jellemzik a folyamatokat.³

domány nem képes ennek alapján választ adni az új problémákra. Az új paradigmának három feltételt kell teljesítenie: megoldást kell adnia az adott tudományterület válságára, új gondolkodási keretet kell adnia a tudósoknak, és elő kell segítenie új kutatási irányok kialakulását. A társadalomtudósok közül különösen sokan találták vonzónak Kuhn paradigma-koncepcióját az elmúlt évek során, a társadalomtudományok problémáinak megmagyarázására, tekintet nélkül két nagyon fontos tényre. Az egyik az, hogy a paradigma-elméletet sok és meggyőző bírálat érte, leegyszerűsítő és a tudományos fejlődés gyakorlatának ellentmondó jellege miatt. Másrészt megkezdtek arról, hogy Kuhn maga is különbséget tett kiforrott tudományok és kiforratlan tudományok között. A kiforrott tudományok terén Kuhn szerint egy adott paradigma létezik adott korszakban, a kiforratlan tudományok terén különböző paradigmák létezhetnek, amelyek egymással versengenek. Nem kívánok e tanulmány keretében foglalkozni a paradigma-koncepció bírálatával. Ezt egyébként már sokan megtették. Vannak ugyan lényeges felfedezések, amelyek döntő fontosságúak valamely tudomány fejlődésében, azonban a tudományos forradalmak nem úgy zajlanak, hogy egy „paradigma” teljesen megbukik. Az új felfedezések valamilyen módon a régiekre, azok vívmányaira épülnek. Még bonyolultabb a helyzet a társadalomtudományok terén, amelyek Kuhn szerint a „kiforratlan” kategóriába tartoznak. A társadalmakban a kontinuitás még fontosabb, s egyidejűleg több hatóerő vagy rendezőerő is érvényesülhet.

2 Lásd pl. Ernst O. Czempiel and James N. Rosenau (ed): *Global Changes and Theoretical Challenges*. Lexington Books, 1989.; James N. Rosenau: *Along the Domestic-Foreign Frontier*. MIT Cambridge University Press, 1997 és számos más munkát.

3 1994-ben, az Egyesült Államokban „A világ kormányzásának jövője, a változások és kockázatok menedzsmentje a nemzetközi rendszerben” címmel megjelent könyvemben talán az első között kíséreltem meg a fenti négy diszciplínára építve választ adni arra a kérdésre, hogy melyek a globalizálódás folyamatának leglényegesebb ösztönzői, következményei, korlátai és ellenható erői a 21. századba való átmenet világában. Lásd. Mihály Simai: *The Future of Global Governance. Managing Risk and Change in the International System*. USIP Press, Washington D. C., 1994.

A globalizációs kihívás a társadalomtudományoktól mindenekelőtt annak megvilágítását követeli meg, hogy melyek világ gazdasági, nemzetközi politikai és társadalmi feltételei, körülményei, s hogy milyen területeken változtak meg hajtóerői a századeleji viszonyokhoz képest, amelyeket sokan a folyamat kezdetének deklaráltak.

A változások minden tekintetben igen lényegesek. Egy évszázaddal ezelőtt a világpolitikában az imperialista doktrína és gyakorlat uralkodott, a világ néhány egymással versengő birodalomra oszródott. A globális gondolkodás a birodalmi stratégiákhoz kötődött. Az internacionalizálódás mai politikai környezete a csaknem 200 államra épülő s hierarchikus hatalmi struktúra. A gyarmatbirodalmak, a Szovjetunió és más államok szétesésének következtében igen nagy számú olyan állam jött létre, amelyik a nemzetközi kapcsolatrendszer nélkül nem tudna működni. A gazdaság globalizálódásának folyamatai szoros kölcsönhatásban fejlődnek a *politikai globalizálódással*, amelyik a nemzeti államok szerepének, a nemzeti szuverenitás érvényesíthetőségének és érvényesítésének sajátos módosulása. A politikai globalizáció jelentős mértékben az államok kölcsönös kötelezettségvállalása alapján a nemzetközileg közösen meghatározott szabályok, magatartási normák szerepét növeli, és bizonyos területeken korlátozza cselekvési szabadságukat. A gazdasági globalizálódás függ tehát az államok politikai hajlandóságától a liberalizálásra és a deregulációra, valamint hatalmi helyzetüktől is érdekeik érvényesítésére.

A gazdasági globalizálódás a 20. század végén olyan lényeges folyamatok összességéként fogható fel, mint javak, szolgáltatások, tőke, technika, információk nemzetközi áramlásának bővülése és jelentőségének növekedése a nemzetgazdaságok számára,⁴ az emberek államok közötti mozgása, a világ gazdasági orientáció a kereskedelemben, a tőkebefektetésekben és más tranzakciókban a vállalatok szintjén, a piacok térbeli és institutionális integrálódása, a termelés és a fogyasztás homogenizálódása, szabványosodása, a jogrendszerek hasonulása, egyre általánosabban elfogadott nemzetközi szabályok és normák kialakulása az államközi szervezetek és együttműködési rendszerek tevékenysége nyomán. A folyamat centruma a gazdaság, de elősegítésében vagy akadályozásában, mint említettük, jelentős szerepet játszik az államok gazdaságpolitikája. Az államok vállalják ugyanis, hogy lemondanak gazdaságuk lényeges területeinek ellenőrzéséről. A gazdasági és politikai globalizálódás oka és következménye is az *univerzálódás*, a nemzeti intézmények és szabályozók növekvő hasonulása, valamint a jogok és politikai döntések konvergálódása a politikai rendszer működése szempontjából lényeges területeken, ami ugyancsak hozzájárult az államok kölcsönös függőségének erősödéséhez, egymásra hatásuk intenzitásának növekedéséhez.

4 1950-ben a világkivitel a világ bruttó termékének 6%-át, 1997-ben csaknem 20%-át tette ki. A közvetlen külföldi tőkebefektetések állománya 1960-ban 68 milliárd dollár volt, 1996-ban meghaladta a 3200 milliárdot. A világ-GDP több mint 20%-át a külföldi tulajdonban lévő szektor állította elő. A világexport és a nemzetközi termelés együttesen a világtermék több mint 40%-át tették ki 1996-ban. UNCTAD, *World Investment Report*, 1997. UN. Geneva, 1997. p. 4 és *A World Economy for the Benefit of All*. Danish Ministry of Foreign Affairs. Copenhagen, 1997., p. 114.

Új nemzetközi feltételek

E tanulmány témája szempontjából a globalizálódás folyamatát különösen nagy mértékben ösztönző tényezők közül csak néhány fontosabbat emelek ki.

1. Az 1960-as évek óta kibontakozó új tudományos és technikai átalakulás hatalmas mértékben kiterjesztette az emberi tevékenységet: a világűrre, a biológiai folyamatok és az anyagok tulajdonságainak befolyásolására. Lehetőséget adott minden korábbi képzeletet felülmúló méretekben az információk kezelésére, tárolására és továbbítására. Az új technika jellegét és következményeit illetően minden korábbi technikai változásnál nagyobb mértékben átfogó és univerzáló hatású. A tudomány, amelyik hatását illetően mindig is nemzetközi volt, de a nemzeti tudósközösségekből kialakult mozaikot jelentett, lényegesen nagyobb mértékben nemzetköziesedett a katonai és polgári együttműködési programok, egymásra épülő hálózatok, az egyetemek és kutatóintézetek kapcsolódásai, a tudósok számottevően megnőtt nemzetközi mobilitása és a transznacionális társaságok K+F tevékenysége nyomán. A technikai átalakulás a nemzetközi versenyben jelentős előnyökhöz juttatott egyes országokat és vállalatokat a katonai és a polgári termelésben, s minden korábbinál jobb lehetőséget nyitott számukra a globális expanzióhoz. A technikai fejlődés hatására számottevően megnövekedett, és lényegesen olcsóbbá vált az áruk, a tőke, a tudás és a technika meg az információk nemzetközi mobilitása. A sugárhajtású repülőgépek, a konténerszállító hajók, a szupertartályhajók, a szállítás és a közlekedés meg a távközlés technikai fejlődése s különösen a műholdakon sugárzott TV-adások összezsugorították a Földet. Az új technika, a kommunikációs technika a tranzakciókhoz szükséges idő és költségek csökkentésével, az információáramlás gyorsaságának és megbízhatóságának növelésével radikális változásokat tett lehetővé a pénz- és tőkepiacok működésében s a nemzetközi menedzsmentben. A technikai fejlődés is hozzájárult a világ valamennyi országát érintő, ún. globális problémák kialakulásához, mint pl. a globális természeti erőforrások és természeti környezet gondjai, amelyek csak közösen kezelhetők.⁵

2. A hidegháború a vezető ipari országok politikai hatalmi elitjét közelebb hozta egymáshoz, elsősorban a közös ellenféllel szembeni stratégiai érdekek alapján. Sajátos tömbfegyelem alakult ki, amelyik korlátozta a hatalmi versengést a tömbök keretei között. Emellett, a fejlett ipari országokban, az államközi viszonyok formálásában olyan erők kerültek túlsúlyba, amelyeknek alapvető érdekeik fűződnek a piaci korlátok s a mobilitást akadályozó tényezők lebontásához. A vezető ipari országok többségében a politikaformáló gazdasági és a politikai hatalmi elitek ez irányú törekvéseiket meghatározott mértékben és intenzitással érvényesíteni is tudták a multilaterális rendszerben is. A globalizációban különlegesen fontos szerepet játszott az amerikai hegemonia. Az USA sajátos globális struktúraformáló hatalommá vált, amelyik nagymértékben képes volt meghatározni a világgazdaság technikai és gazdasági szerkezeti átalakulásának irányát, és a második világháborút követő

5 Mihály Simai: *The Future of Global Governance. Managing Risks and Change in the International System*. Washington D. C., USIP Press, 1994.

évtizedekben a liberalizálódás és a dereguláció legfőbb ereje volt a multilaterális rendszerben. (Fennmaradtak s időről időre megerősödtek ezzel szemben álló erők is az USA-ban s más államokban is.)

A deregulációs intézkedések közül különösen fontossá vált a tőkemozgás szabadságát akadályozó pénzügyi korlátok lebontása, a nemzetközi tőke- és pénzügyi piacok működéséhez és gyors bővüléséhez elengedhetetlenül szükséges konvertibilitás megteremtése, a piacra kerülés szabadságát és a gyakran nagy haszonnal kecsegtető szektorok megszerzését gátló állami tulajdon privatizálása.

3. Az első világháborút követő néhány évtizedes visszaesés után folytatódott a nagy társaságok bővülésének, nemzetközi területi és ágazati expanziójának folyamata.⁶ E társaságok számára egyidejűleg növekedett meg a globális expanzió lehetősége és szükségessége. Ma mintegy 40 000 globális döntési centrum működik a világ gazdaságában, több mint 260 000 vállalkozással a világ 150 országában. E társaságok tevékenységének közvetlen következménye a gazdasági globalizálódás egyik fő hajtóereje, a *transznacionalizálódás*. Ez a nemzetgazdaságok termelési és jövedelmi viszonyainak alakulására olyan közvetlen hatások összessége, amelyek lényegében az államok érdekeitől független nemzetközi vállalati döntési centrumokból indul ki, s globális vállalati érdekeknek rendeli alá a különböző nemzetgazdaságokban folyó tranzakciókat, s a nemzeti termelést és szolgáltatást közvetlenül integrálja globális vállalati rendszerekbe. Ennek alapján megfogalmazható, hogy egy valóban globalizálódott gazdaság az, amelyet a transznacionális társaságok és pénzintézetek uralnak, s ezek műveleteikben nincsenek tekintettel az államháztartásokra, a nemzetgazdasági szabályzókra és a nemzeti politikai feltételekre.⁷

A gazdasági folyamatok globalizálódása tovább erősítette a transznacionális társaságok szerepét, és segítette új transznacionális társaságok létrejöttét. Az „új jövevények” a mikroszférában mindenekelőtt a tudományos és technikai átalakulás új vívmányaira, valamint a fogyasztás és a termelés ágazati és térbeli elhelyezkedésének változásaira építik pozícióikat a versenyben.

4. A tömegkommunikációhoz is kapcsolódó, nagymértékben szervezett demonstrációs hatás a globalizáció társadalmi következményei terjedésének egyik legjelentősebb motorja. Az emberek a világon keresik szükségleteik kielégítésének legjobbnak vélt módjait. Az életstílus, a fogyasztási szokások közelednek azokhoz a nemzetközi formákhoz, amelyeket a tömegkommunikáció és a nemzetköziesedő kiskereskedelmi, szuper- és hipermarket-hálózatok kivetítenek. Ezek először a lakosság ma-

6 Figyelemre méltó s elméletörténeti szempontból is érdekes e tekintetben Karl Kautsky szociáldemokrata közgazdász 1915-ben napvilágot látott megjegyzése: „...Vajon nem lehetséges-e, hogy a mostani imperialista politikát új, ultraimperialista politika fogja kiszorítani, azaz nem fogja-e az egymás ellen harcoló nemzeti finánciók helyét a nemzetközileg szövetkezett finánciók elfoglalni? Mindenesetre elképzelhető a kapitalizmusnak egy ilyen új szakasza.” *Die Neue Zeit*. XXXIII. évf. I. köt., 1915. április 30. 144.

7 A globalizálódás a gazdaságban mindenekelőtt a pénzügyi piacokra és a nemzetközi információs rendszerekre jellemző. A nemzetközi pénz- és tőkepiacok évi forgalma, amelyik még pár évtizeddel ezelőtt alacsonyabb volt, mint a világkereskedelem volumene, az évszázad végére annak sokszorosára nőtt. A nemzetközi valutáris tranzakciók napi volumene az 1970-es 15 milliárd dollárról 900 milliárdra emelkedett. A pénzügyi piacok globalizálódásának egyik jele, hogy az elmúlt 30 év során (1964-től) a nemzetközi pénzintézetek, bankok, biztosítótársaságok üzleti forgalma harmincszorosára nőtt, s 1994-ben elérte a 10 000 milliárd dollárt, ami több mint kétszerese volt az adott évben a világexportnak.

gasabb jövedelmű rétegeihez jutnak el. E rétegek életstílusa és fogyasztási szokásai szabványosultak a legnagyobb mértékben. A farmernadrág, a gyorskiszolgáló éttermek, a fejlett ipari országok tömegkultúrájának olcsó termékei gyakorlatilag elárasztják a világot, de mindenekelőtt a városokat. *Sajátos módon univerzálódik a bűnözés is. A kábítószer-kereskedelem, a prostitúció, a nemi erőszak és a korruptió mindenütt hasonlóvá válnak.*

5. A nemzetköziesedés folyamatainak rendkívül kedvezett a világtermelés és -fogyasztás gyors és viszonylag széles bázison kibontakozott növekedése. A foglalkoztatottság és a jövedelmek viszonylag gyors növekedésének feltételei mellett az államok könnyebben liberalizálták nemzetközi kereskedelmüket, pénz- és tőkeforgalmukat. A külkereskedelem és a tőkeáramlás bővülése előmozdította sok ország gazdasági növekedését is, és a kedvező globális konjunktúra lehetőséget adott a nemzetközi piacokra épülő fejlesztési stratégiák sikeres végrehajtásához. Az is világossá vált ugyanakkor, s a történelmi tapasztalatok is erre utalnak, hogy a nemzetköziesedés, a globalizálódás nem visszafordíthatatlan folyamatok. Előrehaladásuk a jövőben is attól függ, hogy a vezető ipari államok mennyire találják meg számításait a liberalizációban s a dereguláció folytatásában. Kedvezőtlen világgazdasági feltételek esetén jelentős visszaesések sem zárhatók ki.

A fentiek alapján egyértelműen megfogalmazható az is, hogy számottevően megnőtt a nemzetközi gazdasági, politikai, jogi és institutionális változások, a kooperációs lehetőségek és ezeknek az államokra, vállalatokra és az egyénekre gyakorolt hatásai elemzésének szükségessége. A feszültségek és konfliktusok s kezelési lehetőségeiknek megvilágítása ugyancsak kulcsfontosságúak a jövő szempontjából a társadalmak életének szinte minden területén, a demográfiától a lélektanig és a kriminológiáig. Igen lényeges alapvető stratégiai fontosságú kérdések várnak válaszra vagy legalábbis magyarázatra, globális, regionális és nemzeti szinten. Ezek közül csak néhány olyan közös problémára és feladatra kívánok itt utalni, amelyek gyakorlatilag egyidejűleg lényegesek jó néhány társadalomtudományi terület számára.

Néhány közös feladat

1. Először is szükséges azoknak a közös rendező elveknek megfogalmazása, amelyek elősegítik a globalizáció lényegének és következményeinek tisztázását.

Négy kérdéskör kiemelését tartom szükségesnek ebben az összefüggésben, amelyek keretként szolgálhatnak a témához:

a) Az interaktív kapacitások szerepének és fejlődésének kutatása. Ennek keretében a társadalmak, államok vagy a vállalatok, civil szervezetek képességeit kell elemezni. Mennyiben alkalmasak ezek a nemzetközi kapcsolatok mai és jövő rendszerében való részvételre, a kommunikációra, az áruk, a szolgáltatások, a pénz, a tőke, az emberek és az információk nemzeti határokat átlépő mozgatására, a közmegegyezésre épülő nemzetközi jogalkotásra? Mennyiben integrálódnak ezek a képességek a nemzetközi intézmények és szervezetek közös képességeivé az adott területen?

b) *A nemzetközi gazdasági, politikai és ökológiai rendszer struktúrájának és a változások dinamikájának kutatása.* Melyek egy-egy adott szakaszban a nemzetközi rendszer főszereplői (pl. államok, vállalatok, nemzetközi szervezetek), hogyan helyezkednek el ezek a politikai és gazdasági hierarchiában, milyen a viszonyuk egymáshoz, hogyan változnak érdek- és értékviszonyaik, milyen hatással vannak rájuk a globalizációs folyamat főbb következményei, mennyire tudják a változásokat befolyásolni, kivédeni, illetve azokhoz alkalmazkodni? (Állami politikák, bilaterális és multilaterális szabályok.) Az elmúlt évtizedekben egyre újabb államok és vállalatok kapcsolódtak be a világereszkedelmi rendszerbe és a nemzetközi tőkeáramlások hálózatába. A világpiaci kapcsolatrendszer fő területeiről korábban kirekedt volt szocialista országok, valamint Kína és Vietnam világpiaci integrálódása képviselik e tekintetben a legújabb fejleményeket. Jelentős változásokhoz vezetett azonban a világpiac térszerkezetében az is, hogy korábban elmaradottnak számító államok képesnek bizonyultak gyors műszaki és gazdasági átalakulásra, és jelentősen megnövelték világgazdasági szerepüket, versenyképességüket. Mennyiben jelent mindez felzárkózást a fejlett világhoz, s egyáltalán: elősegíti-e a globalizáció az elmaradottabb országok felzárkózását, vagy ezzel ellentétes hatásokat vált ki? Részben a világgazdaság térszerkezetének átalakulásával függ össze a regionális integrálódás és a globalizációs folyamat közötti viszony konfliktusossága, illetve harmonizálhatósága is. A regionális integrálódás lehet a globalizálódás lépcsőfoka is, de képezhet azzal szemben álló erőcentrumot is. A komplex rendszerben egyébként állandóan jelen van a globalizálódással, illetve a regionalizálódással szemben a dezintegrálódás, a szétesés is. A globalizáció mellett, illetve ezzel szemben különböző ellenható erők is működnek, illetve maga a folyamat is létrehoz ilyeneket.⁸

c) *A kölcsönhatásokat, a kölcsönös függőségi viszonyokat közvetítő folyamatok megvilágítása és kölcsönhatásaik kutatása.* Nemzetközi áramlások mint önálló területek, pl. külkereskedelem, nemzetközi pénz- és tőkeáramlás, a technika nemzetközi forgalma, migráció stb. Melyek az áramlások fő ösztönzői, korlátai, milyen az előnyök és a hátrányok megoszlása? Milyen nemzeti és nemzetközi szabályok érvényesülnek az adott területeken? Különösen fontossá vált a nemzetközi pénzügyek szerepének elemzése a globalizációs folyamatban. A nemzetközi pénz- és tőkepiacok rendkívül gyors bővülése és globális összekapcsolódása, a nemzetközi áru- és szolgáltatásforgalom növekvő függősége a tőkeáramlásoktól és a nemzetközi vállalati rendszerek stratégiájától új kockázati és versenyfeltételeket teremtett. A pénz- és tőkepiacok a századvég világgazdaságában a kapcsolatok nélkülözhetetlen s egyben legsebezhetőbb hálózatát alkotják. A műveletek technikája és gyorsasága különösen megnehezítette az ellenőrzést. Mindehhez járulnak a valutáris rendszer gyengeségei és az árfolyammozgások bizonytalansága. A nemzetközi gazdasági kapcsolati rendszer

⁸ A tradicionalizmus és a populizmus erősödése a társadalmi modernizációs erőkkal és folyamatokkal szemben a világ valamennyi térségében megfigyelhető, jóllehet konkrét megjelenési formáik eltérőek. Egyes országokban a modernizáló és központosító állammal szembeni fellépésben, másutt nacionalizmusban, idegengyűlöletben, sok fejlődő és volt szocialista országban Nyugat-ellenességben jelenik meg. A vallási fanatizmus, fundamentalizmus erősödése ugyancsak megjelenési formái közé tartozik.

egyik lényeges dilemmája lett az, hogy a világgazdasági viszonyok alapvetően piacorientált fenntartása mellett lehetséges-e az új globális pénzpiaci kockázati tényezők hatékonyabb kezelése, s ennek milyen intézményes formái a célravezetők. Feloldható-e az ellentmondás, amely egyrészt annak következménye, hogy a világ vezető államai és nagyvállalatai továbbra is szükségesnek tartják a dereguláció folytatódását és a liberalizálódást a nemzetközi pénzpiacokon, másrészt növekvő biztosítékokat szeretnének elsősorban a spekulatív tőkemozgásokkal és az árfolyamváltozásokkal összefüggő kockázat csökkentésére?

d) *Az elméletek, eszmék, értékvizonyok kutatása.* Mint közismert, a globalizálódás reális folyamatait messze megelőzték a világ jövőjével foglalkozó különböző „világmegváltó” eszmék. Ezek között sok úttörője volt valamilyen, az emberiség számára optimálisnak tartott világrend kialakításának. Már igen korán megjelentek az olyan eszmék, amelyek a világot sajátos értékrend alapján szerették volna egyesíteni, s ebből kizárták mindazokat, akik más értékeket vallottak az egyének és a társadalom viszonyában, a hatalom gyakorlásában és az államközi kapcsolatok normáiban. A 20. század végén a globalizációval kapcsolatban, leegyszerűsítve, három eszmei irányzat léte és összeütközése figyelhető meg. Ezek közül kettő lényegében elfogadja a globalizációt, de különböző értékeket vall, míg a harmadik szemben áll vele. Az egyik a *globalizmusnak a kollektív, közösségi eszméken alapuló, lényegében humanista megfogalmazása*, amelynek centrumában az egyenlőségre, az emberi jogokra, a háború és erőszak nélküli fejlődésre épülő, ún. pluralista és szociális világ koncepciója áll. Ebben sajátos eszmei találkozási pontok jöttek létre a szociáldemokrácia, a zöld mozgalmak, a kereszténység, mindennek-előtt a mai katolikus egyház és különböző, olyan tudományos csoportok között, mint pl. a Római Club. A szociális világ koncepciójától nagymértékben eltér egy másik, a neoliberais, libertariánus megközelítés, lényegét illetően a *piacgazdaságra épülő, univerzalizáló, technokrata globalizáció eszmerendszere*, amely a technikai fejlődés, a piacok és a nemzetközi vállalatok érdekeiből kiindulva fogalmazza meg a globalizálódás céljait és eszközeit, s a piaci viszonyokat tekinti az egyéni jólét megteremtése legfőbb forrásának a globális rendszerben is. Egyesek ezt a transznacionális társaságok ideológiájának tekintik, és a társadalmi darwinizmus nemzetközi megfogalmazódásaként fogják fel, annak alapján, hogy lényegében természetesnek tekinti a globális versenyt, elfogadja, sőt maximálisan hasznosítani igyekszik a globális egyenlőtlenségeket, ellenzi a globális redistribúciót a szociális problémák enyhítésében. A harmadik kategóriába több nézetkör sorolható, az egyik a nemzetközpontú megközelítés, mely a globalizációs folyamatot szinte kizárólag az állami, nemzeti, a nemzetbiztonsági érdekek szemszögéből vizsgálja, s a célja ezek maximális érvényesíthetősége. Ez a nézetrendszer esetenként elfogadja ugyan a globalizálódás előnyös oldalait az adott ország szemszögéből, de azonnal befelé fordul, ha érdekeit a folyamat sérti. Egy másik, a globalizálódással és annak főszereplőivel egyértelműen szemben álló rendszer a *neonacionalizmus és a nemzeti populizmus*. Sajátos helyet foglalnak el az eszmék tárházában azok a nézetek, amelyek elsősorban a fejlődő világban hódítottak teret, s a globalizálódást a nyugati világ eszközének tekintik hatalmának kiterjesztésére.

Nyilvánvaló azonban, hogy az említett három fő eszmei irányzat keretében, illetve azok mellett más irányzatok is léteznek, és sok olyan kérdés fogalmazódott meg, amelyek tanulmányozása, illetve a válasz keresése igen fontos lehet az alternatívák és a szükséges viták szemszögéből is. Ilyen kérdések pl.: alkalmazhatók-e a globalizációs folyamat megvilágítására az „evolúciós” elméletek? Felfogható-e úgy az emberi társadalom fejlődése, mint egy törvényszerű, többé-kevésbé lineáris folyamat, amely a család-nemzetség-törzs-nemzet lépcsőfokokon keresztül vezet globális emberi közösség kialakulásához, vagy pedig egyidejűleg több irányban is változik az emberi társadalom, s pl. a globalizáció hatására erősödik a tradicionalizmus, nő a helyi kis közösségek fontossága? Milyen alternatívák lehetségesek a globalizációval szemben? Mennyiben jelent kedvezőbb alternatívát a regionalizmus? Kialakulóban vannak-e közös globális érdekek, s ezeket kik hivatottak képviselni? Csupán egy útja van-e az emberi társadalom igazodásának az új technikai korszak, a nemzetközi verseny követelményeire? Egypályás vagy többpályás folyamat-e a globalizálódásra épülő modernizáció? Vannak-e a mai feltételek mellett alternatívák a különböző civilizációk számára? Miképpen alakul majd bolygónkon a különböző civilizációk egymáshoz való viszonya? Van-e realitása annak, hogy a két társadalmi rendszer konfliktusai helyébe a civilizációk közötti konfliktus lép mint az elkövetkező konfrontációk fő forrása?

2. Minden társadalomtudomány számára lényeges kihívás a globalizáció egyik, a tudományos elemzés szempontjából igen fontos következménye, a nemzetközi viszonyok komplexitásának növekedése. Nem egyszerűen arról van szó, hogy a világgazdasági rendszer összetettebbé, nehezebben áttekinthetővé és nehezebben kezelhetővé vált. Jelentős mértékben megnőtt a politikai, gazdasági, társadalmi és intézményi, jogi szervezeti és ökológiai feltételek kölcsönhatása. A társadalmi idő gyorsult, és a globális térszerkezet zsugorodott. A növekvő komplexitás sajátos, lényeges forrása az érdekek és az ellenérdekek alakulása a globalizációs folyamatban. A komplexitást növelte az államok és a világgazdasági viszonyok formálásában jelentős szerepet játszó transznacionális társaságok sajátos, nemegyszer igen konfliktusos érdek- és értékviszonyainak alakulása, amely egyebek között a nemzeti érdek definícióját is megnehezítette.

Izgalmas és fontos társadalmi kérdések is válaszra várnak. Ezek között az egyik legfontosabb annak megvilágítása, hogy kik a globalizáció tényleges nyertesei és vesztesei. Hogyan hat a globalizációs folyamat a foglalkoztatottság és a társadalom szerkezetére? Fenntartható-e a teljes foglalkoztatottság egy liberalizált világgazdasági rendszerben? Miképpen változtatja meg a globalizációs folyamat a különböző rétegek arculatát, érdek- és értékviszonyait, egymáshoz és az államukhoz való viszonyát? Milyen hatással van belső konfliktusaikra az államok keretei között, s miképpen hat nemzetközi viszonyaikra? Igaz-e az a feltételezés, miszerint a globalizációs folyamat a társadalmi osztálykategóriákat módosítja: azáltal, hogy a társadalmakat 3 csoportra osztja: a globalizált gazdaságba integrálódott rétegek, a globalizációs folyamatokból kirekedtek és a közbülső rétegek, amelyek részlegesen bevonódnak a globálisan integrálódott szektorokba, tevékenységekbe. Hogyan hat a folyamat a világ lakosságának ma is jelentős hányadát kitevő parasztságra?

Igen lényeges új kérdések fogalmazódnak meg a nemzeti és nemzetközi intézményrendszer területén is a globalizációval kapcsolatban. Az egyik ezek közül az állam szerepének és a nemzeti szuverenitás értelmezésének változása. Az előzőekkel összefüggésben választ kell adni arra a kérdésre is, hogy a transznacionalizálódás feltételei mellett merre tart az állam mint szervezeti egység – az elhalás felé vagy éppen ellenkezőleg: új, a múlthoz képest más, de lényeges szerepet kap-e a globalizáció révén? Hogyan változnak az államhatárok funkciói? (Mint ismeretes, 5 funkciót látnak el az államhatárok: védelmi, jogi, gazdasági, ideológiai és társadalom-lélektani.) Az államok a globalizálódó világban sajátos versenybe kerültek a káros következményeket kivédő és az előnyök realizálásával kapcsolatos képességekben. Milyen következményekkel jár az a folyamat, hogy a liberalizálódás hatására az állam szerepe nagyobb mértékben gyengül a fejlődő, mint a fejlett ipari országokban? Ez utóbbiak esetében az állam lényegesen jobb lehetőségekkel rendelkezik a nemzeti érdekek megfogalmazásában, védelmében s érvényesítésében a nemzetközi tárgyalások során. Az államok szerepe lényegesen passzívabbá válik a fejlődő országokban (és talán a volt szocialista országok többségében is), s képességei is sokkal gyengébbek a közérdek érvényesítésére. Sokkal könnyebben válik az ilyen országokban a magánvállalkozók meghatározott csoportjainak esz-közévé. Mennyire igaz az a gyakran hangoztatott álláspont, hogy az államok kölcsönös függőségének növekedése, az emberi jogok nemzetközi forrásainak elismerése számottevően korlátozta az államok szuverenitását, s nem érvényes többé annak hagyományos „vesztfáliai” értelmezése? Milyen mértékben lehet a jövőben különálló kérdésként kezelni a belső és a nemzetközi jogrendet? Ugyancsak lényeges kérdésként fogalmazódik meg az is, hogy mikor, milyen feltételek mellett lehetséges a humanitárius megfontolásokból kiinduló külső beavatkozás.

A globalizálódás politikai, hatalmi összefüggései napirendre tűzték a hatalom nemzetközi gyakorlásának normáit és korlátait, s a világ globális, közös, az érdekek és célok harmonizálhatóságára épülő kormányzásának lehetőségeit, illetve ennek intézményeit. Rendkívül fontossá vált számos területen az államok együttélésének biztosíthatósága szempontjából a nemzetközi szabályozás. A legközvetlenebbül a nemzeti jogrendszert természetesen azok az egyezmények érintik, amelyeket az államok különböző nemzetközi gazdasági együttműködési rezsim-ek keretében kötnek, s ezek száma megközelíti az ötszázat. Kérdéses, hogy mindez mennyire univerzálja a nemzeti jogrendszereket, s milyen mértékben kerül pl. konfliktusba mindez a nemzeti közjoggal.

Egyes gazdasági, társadalmi, politikai folyamatokra és jelenségekre lehetséges elszigetelt közgazdasági, szociológiai, politológiai és jogi magyarázat. Lényeges kérdésekben azonban a válasz aligha értelmezhető az adott kérdések társadalmi beágyazottságának és más közegekre gyakorolt hatásainak figyelmen kívül hagyásával. Az is lényeges, hogy mindezt milyen szinten célszerű elvégezni, a kis közösségek, az államok vagy a globális rendszer legyenek-e az elemzés tárgyai? A társadalomtudományok számára minden korábbinál fontosabb követelményként fogalmazódik meg az interdiszciplinaritás és az ún. határtudomány-területek erősítése. A válaszkeresés a nemzetközi hatások intenzívebbé válására, jellegük, következményeik feltárására, kezelhetőségükre és kezelésükre már az eddi-

giekben is jelentős változásokhoz vezetett a társadalomtudományok struktúrájában, módszereiben.

Az eddigi változások is ösztönözték új tudományterületek kialakulását. Új diszciplínák váltak elfogadottá, mint pl. a nemzetközi gazdaságtan, a nemzetközi szociológia. Igen gyors a nemzetközi politikai gazdaságtani megközelítés terjedése is.⁹ Új területekkel bővült a nemzetközi jog, amelynek fontossága különösen jelentős mértékben megnőtt a hidegháború utáni szakaszban, amikor is a katonai erő szerepe globális méretekben csökkent az államok közötti kapcsolatokban.

3. A komplexitás lényeges következményei a nagyobb bizonytalanság, az események kiemeltele lehetőségeinek növekvő variációi, és a megnövekedett kockázat különösen fontossá teszik a globális, regionális, nemzeti és egyéni biztonsággal s ennek erősítése lehetőségeivel kapcsolatos kutatásokat. A téma messze túlmege a hidegháborús korszak katonai erőre épülő nemzetbiztonsági prioritásain. A fejlődés fenntarthatóságának biztonsága az ökológiai viszonyokkal kapcsolatos célkitűzésként fogalmazódott meg, a szociális biztonság keresése a foglalkoztatással, a megélhetési lehetőségekkel függ össze, a gazdasági biztonság, a fejlődés, a növekedés a technikával, a pénz- és az exportpiacokkal, valamint a beszerzési forrásokkal összefüggő kérdéskör. Az államok belső biztonságának kulcskérdései a bűnözés és a terrorizmus elleni harchoz kötődnek. E problémák az államok között több területen is közös érdekeket alakítottak ki, s nemcsak megkövetelik, hanem ösztönzik is az intézményesített nemzetközi együttműködést. A nemzetközi piaci viszonyok melletti globalizáció folyamatában a kompetitív együttműködés jellemzi az államok viszonyát. A technikai fejlődés költségessége és a piacokért folyó küzdelemben felbukkanó újabb és újabb versenytársak sajátos módon erősítik az együttműködés bizonyos formáit a versengő nagyvállalatok között is. A versengő együttműködés menedzselésének kérdései sajátos önálló területként alakultak ki a társadalomtudományi kutatásokban. Ezen belül a nemzetközi szervezetek, együttműködési rendszerek tanulmányozása és a közös gondok közös menedzsmmentjének kérdésköre, az ún. „global governance”, amit a világ igazgatásaként, menedzseléseként lehetne magyarrá fordítani (a kormányzás erre túl erős kifejezés lenne), külön önálló kutatási területté fejlődött. Tulajdonképpen e kérdéskörbe tartozik a nemzetközi magántársaságok, a transznacionális vállalatok, nemzetközi bankok menedzsmmentjének elemzése is, jóllehet minőségileg más kategória, mint az államközi szervezetek irányításának problematikája. A versengő együttműködés jellegzetességeinek, a főszereplők céljainak, eszközeinek és a folyamat következményeinek feltárása különleges jelentőséget kapott az integrációs rendszerekkel, mindenekelőtt az Európai Unióval kapcsolatos stratégiai kutatásokban. A versengő együttműködéssel kapcsolatos nemzeti stratégiákban

⁹ Lényege: a vizsgálódásokat nem a technikai részletekre, hanem a leglényegesebb, hosszú távon ható összefüggésekre összpontosítja: figyelembe veszi a nem gazdasági, technikai, politikai, ökológiai, társadalmi, politikai tényezők hatását, illetve a gazdasági folyamatok más területekre kisugárzó következményeit; bármely értelmes módszert, technikát (beleértve a matematikai módszereket is) hasznosít, de nem engedi meg, hogy ezek domináló vagy meghatározó tényezőkké váljanak a problémák megfogalmazásában és kezelésében; elemzéseinél mindig tekintettel van az adott folyamatok, jelenségek történelmi hátterére.

jelentős kérdéssé vált a nemzetgazdaságnak mint kategóriának újraértelmezése, a nemzeti és a regionális (vagy globális) gazdasági növekedés jóléti hatásainak megvilágítása, a nemzeti technikai fejlődés és a nemzeti infrastruktúra fejlesztésének fontossága, az országok és a vállalatok szerepe a nemzetközi versenyben.¹⁰

A globális szociális biztonság erősítése lehetőségeinek megfogalmazása a bizonytalanabbá váló életfeltételek mellett a jövő egyik kulcsfeladata, hiszen legalábbis ma úgy tűnik, hogy a szociális problémák növekedése jelenti a legfőbb veszélyt a globalizálódó nemzetközi rendszer fenntarthatósága számára. A téma egyik komponense etikai kérdés. A globalizáció és az etikai magatartások kérdésköre is lényegében új vizsgálódási területként fogalmazható meg. Új diszciplínaként terjed az alkalmazott etika, azoknak a követelményeknek a megfogalmazását és érvényesítésének lehetséges módjait jelenti ez, amelyeket a vállalatoknak és az államoknak követniük kellene ahhoz, hogy a fejlődés társadalmilag is fenntartható legyen. A versenyben eszerint olyan társadalmi korlátokat kellene szabni, amelyek a dolgozók alapvető érdekeinek figyelembevételére épülnek. Ellenkező esetben azok a nyereségek, amelyek a globalizációból, a versenyből adódnak, hosszabb távon elvesznek. A vállalatok és a kormányok társadalmi felelősségének és kötelezettségeinek nagyobb súlyt kell kapniuk, ha az emberiség el akarja kerülni a társadalmi robbanást és a világgazdaság szétesését. A globalizáció fenntarthatósága ugyancsak érdekes tudományos és gyakorlati kérdésként fogalmazódik meg. *A globalizálódó világban ugyanis* a piaci viszonyok dominanciája s a nemzetközi viszonyok szereplői érdekviszonyainak növekvő áttekinthetatlensége nyomán *nehezebb lett az érdekharmonizáció.*

4. *A komparativitás tartalmi és módszerbeli javításának feladatai különösen lényegessé váltak a társadalomtudományokkal szembeni új követelmények között.* Egyik alapvető előfeltétel a statisztikai adatszolgáltatások további harmonizálása és javítása. A nemzetközi statisztikai rendszer az elmúlt fél évszázad során hatalmas változásokon ment át. Létrejöttek s az elmúlt két évtizedben számítógépes rendszerekbe integrálódtak a nemzeti és nemzetközi intézmények hálózatai. A globális statisztikai rendszer keretében sikerült rendkívül sok kategóriában közös nevezőre jutniuk a szakértőknek és legalábbis a társadalmi és gazdasági folyamatok nem jelentéktelen részéről összehasonlítható alapinformációkat biztosítani. Meglehetősen jók a globális népesedési statisztikák. A világ 150 országa által biztosított, lényegében harmonizált adatok alapján fő vonalaiban összeállt a világtermékek statisztikai térképe. Kialakították a környezeti feltételeket is figyelembe vevő gazdasági növekedési számítások módszereit. Viszonylag jók a kereskedel-

10 Az amerikai kormány egyik bizottságának dokumentuma jó néhány évvel ezelőtt a következőképp fogalmazta meg egy ország nemzetközi versenyképességének fő ismérveit: „Egy nemzet versenyképessége azt a fokot jelenti, amely szabad és normális piaci feltételek mellett képes a nemzetközi piacok által elfogadott termékek előállítására és ezzel egyidejűleg állampolgárai reáljövedelmének növelésére. A versenyképesség nemzeti szinten a magasabb termelékenységre és a gazdaság azon képességére épül, hogy a termelést a magasabb termelékenységgű területeken fejlessze, amelyek magasabb reálbéréket tudnak biztosítani. A versenyképesség következményei az emelkedő életszínvonal, a munkalehetőségek bővülése és a nemzet jobb képessége nemzetközi kötelezettségeinek teljesítésére. Ez tehát nem csak azt jelenti, hogy egy ország képes exportálni, és egyensúlyban tudja tartani kereskedelmi mérlegét.” *The President's Commission on Industrial Competitiveness. The Report*, Vol. 3. Washington D. C., GPO 1985, p. 1.

mi statisztikák, jóllehet az integrációs folyamatok szükségessé teszik átalakításukat. Igen gyengék a nemzetközi pénz- és tőke mozgásokra vonatkozó statisztikák. Hiányzik az államokon belüli társadalmi problémákra, pl. a szegénységre vagy a vagyon- és jövedelemeloszlásra vonatkozó adatok harmonizáltsága, s maguk az adatok is gyengék. A statisztikák hiányosságai mindennél világosabban bizonyítják, milyen messze vannak még a társadalomtudományok attól, hogy az egyes gazdasági és társadalmi fogalmakat és jelenségeket azonos módon értelmezzék. Ennek hiánya megnehezíti, sőt lehetetlenné teszi az összehasonlítható kategóriákra épülő statisztikai adatszolgáltatást.

A társadalmi folyamatok, politikák, érdek- és értékviszonyok összehasonlító elemzésének és értékelésének megnövekedett szükségessége a különböző kultúrák és civilizációk találkozásából, a globalizációs folyamatokra való hasonló vagy eltérő reakcióik lehetséges konfliktusaiból is következik. A globális heterodoxia és az integráló erők konfliktusai a szociológia, a közgazdaság-tudomány, sőt az antropológia számára is lényegessé teszik a komparatív vizsgálódásokat.

A komparatív kutatások erősítésének szükségességével kapcsolatban igen lényegesnek tekintem az egyes országtípusokat érő hatások, a reakciók, a választási stratégiák és a nemzeti gazdaságpolitikák elemzését is. Magyarország szemszögéből pl. különösen lényegesek a kisebb s a nemzetközi gazdasági kapcsolatrendszerrel függő országokkal való összehasonlító vizsgálódások. Ezek alapján el lehet oszlatni bizonyos illúziókat s félreértéseket. Meggyőzőbb választ lehet adni olyan kérdésekre is, mint hogy melyek a sikerek és a kudarcok forrásai a globalizálódó világban, mi tekinthető „kis országnak” a világ gazdaságában, vagy hogy a nemzeti piacméret mennyire előny vagy hátrány a mai feltételek mellett.

Néhány közös tévedés

Nem tekinthettem e tanulmány feladatának annak a hatalmas nemzetközi szakirodalomnak ismertetését és kritikáját, amelyik ebben az évtizedben a globalizációs folyamatról a különböző diszciplínák keretében napvilágot látott. Ez eleve is lehetetlen volna e rövid tanulmányban. Hangsúlyozni kívánom, hogy az elmúlt évek során a globalizációs folyamat főbb sajátosságainak, következményeinek megvilágításával kapcsolatban jelentős eredmények születtek. Ezek szintetizálására azonban mind ez ideig kevés kísérlet történt. Ugyanakkor azonban igen sok a félreértés, illetve a tévedés is. Ez utóbbiakat kíséreltem meg „csokorba szedni” az alábbiakban. Ezek a téma sajátos „vírusaiként” hazai publikációkban is előfordulnak.

1. A témával a fogalom tisztázása nélkül, illetve lényegének megértése nélkül foglalkoznak.

2. A történelmi hátteret figyelmen kívül hagyva, csupán a mai világ jelenségének és elsősorban a liberalizáció következményének tekintik, vagy éppen ellenkezőleg: egyszerűen a megszakadt történelmi folyamatok folytatódásának tartják a globalizációt, figyelmen kívül hagyva az új feltételeket.

3. A mai világ minden lényeges problémáját a globalizáció számlájára írják, azt teszik felelőssé a szegénységért, a munkanélküliségért, a globális egyenlőtlenségek növekedéséért, s nem a mögötte álló sajátos érdek- és értékviszonyokat.

4. A globalizáció fő vagy szinte egyedüli forrásának a transznacionális társaságok tevékenységét, üzleti stratégiáját tartják, sőt nemegyszer e vállalkozások valamiféle nemzetközi, a világ elleni összeesküvésének tekintik.

5. A globalizáció folyamatát a mikroszférára szűkítve vizsgálják, és ezen belül is a technika és a pénzügyek területére szűkítik. Nem fordítanak figyelmet a szélesebb makrogazdasági és társadalmi összefüggésekre. Nem vizsgálják a folyamat politikai, társadalmi hátterét, következményeit.

6. Lényegében figyelmen kívül hagyják az emberiség közös globális problémáit, amelyek különösen nagymértékben igénylik a globális együttműködést. Viszonylag kevés és gyakran nem elég reális ezzel összefüggésben a normatív kutatás, a törekvés az alternatív megoldások lehetőségének felvázolására.

7. Nem értik meg, hogy vannak igen jelentős pozitív vonásai és következményei is a globalizációs folyamatnak, csak a negatívumokat ostromozzák. Nem veszik figyelembe az intézmények képességeinek javulását a problémák megértésére és kezelésére.

8. Az emberiség „nagy családjáról” álmódva, túlhangsúlyozzák a közös emberi érdekeket, nem érzékelik a globalizációs folyamat mögött az állami érdek- és hatalmi viszonyokat, esetenkénti érdek-összeütközéseket és konfliktusokat. Figyelmen kívül hagyják a globalizációval szemben ható erőket.

9. Leegyszerűsítve kezelik az államszervezet jelentőségét, s alábecsülik az államközi szervezetek, nemzetközi együttműködési rendszerek szerepét is a folyamatban. Túl gyorsan temetik el az államot, és nem értik meg, hogy a folyamatok menedzsmentje szemszögéből meghatározó fontosságú marad.

10. Túlhangsúlyozzák a civil szervezetek fontosságát a társadalmak jövőjének, konfliktusainak, együttműködésének formálásában.

Fontos problémának tűnik az is, hogy a kutatók gyakran vesznek át egymástól megalapozatlan, empirikus kutatásokkal nem bizonyított megállapításokat s bizonytalan hipotéziseket.

Összefoglalás

Azt hiszem, az eddigiekből is világossá vált, hogy a globalizációt nem tekintem olyan új paradigmának, egyedüli csontváznak, amelyre a társadalomtudományok felépíthetik vizsgálódásaikat. A világot sohasem lehetett egy paradigmával megmagyarázni. Igen fontosnak tartom azonban hazánkban is, mindenekelőtt az olyan tudományágakban, amelyek a nemzetközi és belső fejlődés kölcsönhatásainak elemzése szempontjából kiemelkedő jelentőségűek, a nemzetközi változások és hatások elmélyültebb, megalapozottabb empirikus kutatásának és az egyes tudományágak közötti együttműködésnek új módon való erősítését. Ez metodológiai, szemléletmódbeli kapcsolódásokat, a nagyobb mértékű egymásra építést,

valamint a határterületeken kialakult diszciplínák fejlesztését követeli. A belső és a külső folyamatok a mai világban a társadalmak életében olyan összefonódott hálózatot alkotnak, amelyben a határok ha formálisan nem is erodálódnak, de dinamikusan változnak, s egyre több területen elmosódnak. Sem a hagyományos elméleti megközelítések, sem pedig az elszigetelt diszciplínák nem alkalmasak arra, hogy használható iránytűt adjanak a mai viszonyok megértéséhez, és elfogadható, az érdekkonfliktusokon és ideológiákon túlmutató, reális alternatívákat ajánljanak a jövő fejlődéséhez.

Irodalom

- Bairoch, P.: *Economics and World History: Myths and Paradoxes*. London, Harvester, 1993.
- Cable, V.: *What future for the state?* Daedalus, Spring, 1995.
- Dollar, D. and Wolff, E.: *Competitiveness, Convergence and International Specialization*. Cambridge, MA: MIT Press, 1993.
- Giarini, Orio, Stahel, R. Walter: *The Limits to Certainty*. Kluwer Academic Publisher, London, 1993.
- Kay, Cristobal (ed): *Globalisation, Competitiveness and Human Security-Papers from the Vienna Conference of EADI*, 1996. Frank Cass, London. *The European Journal of Development Research*, June 1997. Vol. 9. No. 1.
- Kuttner, R.: Globalism Bites Back. *The American Prospect* Cambridge, MA No. 37. March April, 1998.
- Rosenau J. N.: *Along the Domestic-Foreign Frontier*. Cambridge University Press, 1997.
- Simai, M.: *The Future of Global Governance. Managing Risk and Change in the International System*. Washington D. C., USIP Press, 1994.
- Simai, M. (ed): *Global Employment. An International Investigation into the Future of Work*. ZED Book, London, 1995-96.
- Simai, M.: *International Business Policy Transnational Corporations and Their Structural Effects on the International Division of Labour. Trends in the World Economy*. Institute for World Economics of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1996. No. 79.
- Szentes Tamás: *Nemzetközi gazdaságtan*. Aula Kiadó, Budapest, 1996.
- Zarkovic Bookman, M.: *The Economics of Secession*. MacMillan Press LTD, London, 1993.

Az euro-atlanti integráció mint politikai probléma

I.

Az európai integráció problémáit vizsgálva – kimondva vagy hallgatólagosan – még napjainkban is szemben állunk az alapvető kérdéssel. Vajon néhány gazdasági és politikai probléma meghatározott stratégiai szituációból fakadó együttes kezelésén túlmenően valódi történelmi szükséglet-e az olyan társadalmi, gazdasági és politikai egységek, mint az Európai Unió, létrehozatala és működése? Továbbá: ilyen szükségletek – Európában vagy a világ más területein – egyes rövidebb időhöz kötődő szituációkból vagy hosszú távú, történelmi méretű jelentőségükből fakadnak-e? Ha az utóbbi helyzet alakult ki, kontinensünk képes-e egyáltalán ilyen egységig eljutni? Ha pedig ilyen egység létrejön, vajon szemben áll-e, s ha igen, milyen mértékben a nagyobb szervezet hatékonysága és a tagállamok szuverenitása? Vagy ahogyan röviddel ezelőtt néhány kutató megfogalmazta: az Európai Unió a politikai rendszer új típusát jelenti-e a parlamentáris demokráciák hagyományain belül? Fennáll-e annak a veszélye, hogy az Európai Unióban a tagállamok szuverenitása olyan intézmények kezébe jut, amelyek nem kontrollálhatók a szokásos demokratikus módon? (Andersen–Eliassen, 1996:1–2.)

E kérdések nyilvánvalóan még tovább sokasíthatók, igen nagyszámúak is lehetnek, s jórészt nem is újak. Ráadásul mivel nem is mesterségesek, nem hagyhatók válasz nélkül. Nem hallgattak el azok a szkeptikus hangok sem, amelyek szerint az Unió történeti távlatban nem más, mint a szovjet veszélyre adott kényszerű válasz. Ebből következne, hogy a veszély elmúltával feleslegessé válik, legfeljebb máshonnan támadó esetleges támadások vagy fenyegetések elhárítása, a jövő biztonsága érdekében tartandó fenn.

Ám a katonai és politikai helyzet már a második világháború idején aktualizálta a csaknem százéves víziót az „Európai Egyesült Államokról”. (O’Neill, 1996:3–53.) Ez a vízió támogatást, kételyt vagy ellenzést kiváltva, de mindenképpen jelen van nem csupán az európai politikai gondolkodásban, történetfilozófiai reményekben, hanem az Unió jövőjéről folytatott tárgyalásokon is. (Mazey, 1996:24–39.) Kissé leegyszerűsítve, az Unió gyakorlata bizonyos megállapodá-

sokban s egyes szervei „mindennapi” működésében (gondolok itt például a Bizottság tényleges tevékenységére vagy a luxemburgi Bíróság joggyakorlatára) máris túlmegy a tradicionális nemzetközi jogelvek formálisan is biztosított lehetőségein.

Az állami szuverenitást kifejező jogosítványok további tényleges vagy hivatalos átadása az Unió szerveinek azonban még ma is olyan vitákat kavarr – különösen egyes országokban, mint pl. az Egyesült Királyság –, amelyekben való világos állásfoglalásra az Unió e pillanatban nem vállalkozik. Így nem is meglepő, hogy az Unió legutóbbi tanácskozásai ebben a vonatkozásban lényegében nem vezettek eredményre. Ma még aligha cáfolható a következtetés: „...az integrációhoz való csatlakozással az új tagállamok nem veszítenék el szuverenitásukat, és az a lényegyet tekintve nem is csökkenne. Az integrációs közösség tevékenységének szervezetében továbbra is az egymással szorosan együttműködő szuverén államok játsszák majd a főszerepet, és nem a szupranacionális intézmények.” (Valki, 1997:91.) Hozzá kell azonban tenni: az „aligha cáfolható” kifejezés mögött a *szuverenitás felfogásának lényeges megváltozása* áll. Ez a következtetés kétségtelenül jogosan vonható le abból a megállapításból, hogy a politikai hatalom letéteményesei továbbra is az államok maradnak. (Nem használom a nemzetállam kifejezést, mert ennek a kifejezésnek tartalma is változik, sőt az állam „nemzeti” jellege több esetben és egyre inkább kétségbe vonható.)

Mindebből következően az új tagjelölteknek – köztük Magyarországnak – a felvétellel kapcsolatos tárgyalásai *bizonytalan elemeket is tartalmaznak*. Nem is szólva arról, hogy vannak, akik határozottan megkérdőjelezzik a tag értelemben felfogott „kelet-európai” országok felvételének lehetőségét. (L. erre Kearns 1996:88.) Nem csupán arról van szó, hogy az Unióban ma még elfogadott belső joganyag egyes részeiben rövidesen megváltozhat. (Ha maga a joganyag a mi fogalmaink szerint túlnyomórészt „alacsony szintű” jogszabályokat jelent is, s a várható változások feltehetően nem is lesznek túlságosan nagyok.) Ennél általánosabban is elmondható: aligha adható bármiféle biztosíték arra, hogy a csatlakozási tárgyalások befejeztekor az Unió – alapelvei és szervezeti tekintetében – minden vonatkozásban a mai képet mutatja. Emlékeztetek arra, hogy éppen a tagállamok szuverenitását elvileg is érintő alapkérdésekben a megegyezést – a „tagjelöltekkel” folytatott tárgyalás előtt – elnapolták.

A Centre for European Policy Studies 1995-ben megjelent kiadványában – amely egy *kiterjedtebb Európai Unió* alapelveit határozza meg, az 1996. évi tárgyalásokat előkészítendő (Ludlow–Ersboll–Barre, 1995) – az Unió jellege bizonytalan maradt. A mű elismeri ugyan, hogy az Unió nem tekinthető valamiféle „szövetségi” államnak, de pusztán akár sajátos szövetséget alkotó államoknak sem. Jóllehet 1950 óta ugyan semmi sem történt (legalábbis formalizáltan nem), ami a tagállamok szuverén jellegét megkérdőjeleznél, ám semmi olyan sem, ami a szupranacionális intézmények és a polgárok közti viszonyt átalakította volna (Ludlow–Ersboll–Barre, 1995:8). A tagállamok és az Unió szakemberei nagy reményeket fűztek az Unió 1996. évben elindult kormányközi konferenciájához, amelyen több tekintetben is sikerült a szervezet új struktúráját kidolgozni, a

szupranacionális jelleget erősíteni. Jóllehet nincs itt lehetőség az amszterdami találkozó alaposabb elemzésére (ez a munka egyébként megkezdődött Magyarországon – l. az Európai Tükör 1997. évfolyamának számait –, ha egyelőre esetenként inkább publicisztikai szinten is), valami azonban nem hagyható említés nélkül. Éspedig az, hogy az Amszterdamban egyelőre lezárult tárgyalások során éppen a szervezet jellege, a szervezet és a tagállamok viszonya tekintetében nem csupán „áttörés” nem következett be, hanem az alapkérdésekben döntés sem született.

Az amszterdami megelőző, 1996-ban Dublinban megtartott tanácskozás is sok tekintetben ugyancsak óvatos megfogalmazásokat eredményezett. Ám a következő év amszterdami fordulója egyes kérdésekben – s éppen a legérzékenyebbekben – gyakorlatilag még *szövegjavaslatot sem tudott kimunkálni*. Fontos kérdésekben hozott döntések elfogadására még csak javaslat sem alakult ki. Nem született például megállapodás arra, hogy a Tanácsnak egyhangúan avagy minősített többséggel kell-e elfogadnia az Unió szervezetét érintő javaslatokat. Elmaradt az Európai Unió jogi személynek minősítése is, mindössze bizonyos kérdésekben kapott „indirekt jogosultságot” egyes szerződések megkötésére. Végso értékelésként, azt hiszem, elfogadható a tanácskozást összefoglalóan elemző tanulmány következtetése. „Az 1997 júniusában sorra került Amszterdami Európai Tanács-ülésen a hangzatos retorika ellenére a tagállamok láthatóan távolról sem az Európai Unió bővítésére való felkészülésre, illetve az ehhez szükséges intézményi kérdések megoldására helyezték a hangsúlyt. Az uniós állam- és kormányfők egyelőre nem érezték sürgető politikai nyomást a bővítéshez szükséges reformok elfogadására, jóval fontosabbnak tekintették saját belpolitikai érdekeik érvényesítését, valamint a gazdasági és pénzügyi unió kérdését.” (Szűcs, Kende, 1997:100.)

Megállapítható, hogy az Uniónak sem a dublini, sem az amszterdami találkozón nem sikerült olyan megállapodásokig eljutnia, amelyek a felvételi tárgyalásokra meghívott országok számára világos képet adhatnának a szervezet jövőbeli jellegéről és struktúrájáról. Ezzel összefüggésben nem állapíthatók meg – a jövőbe is vezető világos követelményeikkel – a majdan vállalandó kötelezettségek. E tény mögött az a sajnálatos helyzet húzódik meg, hogy az Európai Unió jelenlegi tagállamai éppen a *legfontosabb kérdésekben képtelennek bizonyultak a megegyezésre*. Nagy kérdés, hogy a felvételi tárgyalásokon, illetőleg velük párhuzamosan az Unió eljuthat-e a megegyezésig azokban a kérdésekben, amelyekről Amszterdamban nem sikerült megállapodni.

Félreértés ne essék! Az elmondottakkal semmiképpen sem szeretném megkérdőjelezni a már megindult tárgyalásokat. Sőt, még azt sem kétlem, hogy adott esetekben a jelenlegi helyzet kedvező alkupozíciót is teremthet. Fennállhat azonban annak ha *nem* is a veszélye, de a *lehetősége*, hogy az Európai Unió struktúrája vagy funkciói (esetleg mindkettő) a jelenlegi csatlakozási tárgyalások lezárása előtt megváltoznak, s így a megállapodás is módosítást igényel.

Ám a helyzetet reálisan szemlélve, ennek bekövetkezése alig várható. Az Európai Unió strukturális változásának szükségességéről, a tagállamok jogi helyzetének módosításáról sokféle elemzés születik. Folynak a viták az Unión belül a

tagállamok képviselői között s még inkább a tudományos irodalomban. Egyelőre azonban nem nagy a készség a változásoknak kedvező politikai akarat kibontakozásának elősegítésére sem.

II.

Csaknem két évszázada már, hogy egy-egy nagy háború – először a napóleoni háborúk végét követően, majd a 20. században a két világháború befejezése után – a győztes államok valamilyen tartós nemzetközi rend megteremtésére törekednek. Ezek a kísérletek sorra kudarcot vallottak. Egyelőre csak a második világháború után kialakult nemzetközi rend maradt tartós, abban az értelemben, hogy hozzájárult az újabb világégés elkerüléséhez. Ebben az időszakban is olyan háborúk keletkeztek azonban, amelyeket részben nagyhatalmak vívtak a második világháborút követő, szerencsésnek aligha nevezhető kézzel megvont határok, érdekszférák fenntartásáért, részben pedig függetlenné vált nemzeti vagy vallási közösségek törekedtek és törekednek önállóságuk megszerzésére vagy megóvására. Ám ez a világrend sem a régi. A Szovjetunió felbomlása, Kína világhatalommá erősödése – hogy csak a két legfontosabbat említsem – alaposan átalakította a századunk '80-as éveiben még szinte változhatatlannak tételezett nemzetközi „rendet”.

A napjainkra kialakult világra jellemző az egyes országok különböző szervezetséget elért *szövetségeinek* léte. Ezek esetenként „tartalmilag” is tartósnak bizonyulnak, többnyire azonban *formális* jellegűek maradnak. Ez utóbbiak nem képviselnek valódi gazdasági, még kevésbé tartós és hatékony politikai vagy katonai erőt. Szilárdságuk és jelentőségük változik. Az ASEAN (a Délkelet-ázsiai Nemzetek Társulása) például a legutóbbi évig erőteljesen fejlődő organizációnak tűnt, amelynek hangadói igyekeztek háttérbe szorítani a térség európai kultúrájú országait (például Ausztráliát), s ez a törekvésük már a nemzetközi konferenciák porondján is megmutatkozott (l. Kulcsár, 1998). A térség gazdasági problémáinak sokasodásával azonban (amely egyébként az európai és észak-amerikai országok és szervezetek segítő figyelmét is felhívta), úgy tűnik, rákényszerülnek a gazdaság hagyományos gyakorlatának, a munkaerő kezelésének és legalábbis a munkaszervezet bizonyos elemeinek felülvizsgálatára. Az Ázsia más területein megkísérelt szervezett gazdasági együttműködés feltehetően más okok folytán jutott kátyúba. Az India és a környező államok gazdasági együttműködését megkísérlő SAARC (Dél-ázsiai Társulás a Regionális Együttműködésre) léte és működése több mint tíz esztendővel megalkotása után még ma is alig észrevehető a tagországokban, illetőleg a világ gazdaság területén, s gyakorlatilag látszateletet él. Legutóbb ráadásul a két legfontosabb tagállam (India és Pakisztán) atomfegyver-kísérlete nemzetközi tiltakozást és retorziót váltott ki. Ezzel szemben Latin-Amerikában – az Egyesült Államok nyomasztó jelenlétének ellenére – láthatók az együttműködés bizonyos kedvező jelei is. A MERCOSUR (a Dél-Kereskedelmi Közössége) például jelentősen fejlesztette az érintett országok, azaz Argentína, Brazília, Paraguay és Uruguay kereskedelmi kapcsolatait.

Sorolhatnám még a pozitív és a negatív példákat, ám valószínűleg sokkal inkább a sikerek és a kudarckok átfogó elemzése járna tanulságokkal az Európai Unió számára is, még ha jelentős – s széles értelemben vett – kulturális különbségekkel kell is számolni.

A példaként említett országok és szervezetek közelebbi, ám itt és most el nem végezhető elemzése feltehetően érdekes tanulságokkal járna az európai törekvések számára is. Az mindenesetre megállapítható, hogy – történeti és kulturális tényezők folytán is – a most röviden a „nyugati keresztény Európaként” megjelölhető kultúra országai alkotják az Európai Unió legszerveesebb összetartozó területét. Nem sorolhatók tehát ide az *ortodoxia* országai, Görögország kivételével. Görögország történelme az európai kultúra legrégebbi hagyományainak egyik jelentős és az egész kontinenst formáló csoportját fejlesztette ki, jórészt meg is őrizte, illetőleg „átadta” a kontinens más részeinek az ortodoxia, majd a török megszállás ellenére is. (Hangsúlyozom, hogy ezzel nem kívánom „kirekeszteni Európából” például Magyarország déli vagy keleti szomszédait. Annál is kevésbé, hiszen a mindkét irányban fekvő szomszéd országokban jelentős magyar kisebbség él.) Ám kétségtelen, hogy maga az Unió is fokozatosan fejlődött ki, és pedig jelentős részben a politika alakulásának, igényeinek függvényében, illetőleg, ahogyan a felvételüket kívánó államok készen állottak elfogadni és képesnek mutatkoztak teljesíteni a belépéssel járó kötelezettségeket.

III.

Magyarországnak az Európai Unióba való belépése értelemszerűen három alaptételétől függ. Ezek – nem pontos logikai sorrendben haladva – a következők: 1) az Uniónak az ország fogadására irányuló készsége, illetőleg 2) az ország belépésre irányuló valódi kívánsága és 3) a feltételek teljesítésére irányuló hajlandósága.

E három feltétel teljesítése – úgy tűnik – lehetséges, és az ország vállalkozik is erre. Az Unió meghívta Magyarországot a felvételi tárgyalások lefolytatására, Magyarország pedig kifejezte készségét a részvételre, a feltételek teljesítésére, és ezek a tárgyalások már megkezdődtek. Magyarország készsége a tárgyalásokon való részvételre megerősítette belépési szándékának komolyságát, hiszen a megindult tárgyalások feltehetően több évig is eltarthatnak. Úgy tűnik, minden rendben van, az idő múlásának és esetenként talán kemény alkuk lezárásának kérdése, hogy az ország az Unió tagja legyen.

Kérdés azonban, hogy *milyen változások várhatók az Unió alapelveiben, struktúrájában*, és pedig még a tárgyalások idején. Hiszen céloztam már arra, hogy az Unión belüli tárgyalások során az utóbbi években rendkívül fontos kérdések nyitva maradtak. Ezek a kérdések ugyanis végül valamilyen módon mindig a tagországok szuverenitásának a problémájához vezetnek, pontosabban ahhoz a kérdéshez, hogy az Unió tagállamai milyen mértékben és milyen célok érdekében készek lemondani szuverenitásukról. Az alapvető cél a jelenleginél hatékonyabb közös politika lehetőségeinek biztosítása, ám olyan perspektívával, hogy az ezzel

kapcsolatos változások növeljék az adott ország jólétét és biztonságát. Bízvást megjósolható, ha erre a problémára nem sikerül kielégítő megoldást találni, akkor az Unió is bizonytalan, a határozatok meghozatalában nehézkes marad. Ebből következik, hogy a szükséges döntések halasztást szenvednek, a szervezet a döntések során fikciók használatára kényszerül, s tovább folytatódik a jelenleg már mutatkozó túlbürokratizálódása.

Természetesnek tűnik, hogy az államok egymáshoz való viszonyában a változások nem következnek be egyik napról a másikra. Különösen nehéz olyan változásokat elérni, amelyek az államok történetileg nem túlságosan régen kialakult sajátosságát, a *nemzeti szuverenitást* érintik. Még kényesebbnek tűnik ez a probléma, ha tudjuk, hogy a mai államok többsége szuverenitását (igaz, nem az EU jelenlegi és csak részben a potenciális tagjai között) még csak a második világháború után, illetőleg néhányan az utolsó évtizedben érték el. Az Unió számára perspektivikusan leginkább célra vezető állapot, a *nemzeti szuverenitás korlátozásának, majd megszűnésének elérése* tehát csak lassan, a nemzeti érdekek és érzékenységek rendkívül óvatos kezelésével közelíthető meg. Számolni kell azzal, hogy ebben a folyamatban bármilyen türelmetlenség, elsietett lépés vagy akár az érzékenység megsértése is jelentősen visszavetheti a kívánatosnak tekintett helyzet kialakulását.

Mindez azonban nem zárja ki, hogy a tudomány és a politika szintjén ne fogalmazódjanak meg azok a helyzetek, a hozzájuk vezető lépésekkel együtt, amelyek a *történetileg helyesnek felfogott állapothoz* vezetnek. Sőt, ki kell használni azokat az alkalmakat, amelyek lehetővé teszik, illetőleg segítik ennek az állapothoz fokozatos megvalósulását.

Az Unió hatékonyságának fokozása szempontjából Európa most *kedvező* helyzetben van, ha természetesen hatnak ellentétes tendenciák is. A már megformált Európai Unió különösen vonzó a volt „szocialista” országok számára. Még akkor is, ha mára már a lakosság széles rétegei előtt is világossá vált, hogy a kívánatosnak elfogadott állapotok nem jelennek meg automatikusan a politikai rendszer megváltozásával. Sőt, nem csupán a „jelölt” országok politikusai, mi több, lakossága is mindinkább elfogadja, hogy az új gazdasági-társadalmi viszonyok sem alakíthatók ki könnyen, adott esetben akár súlyos áldozatok nélkül.

Már utaltam arra, hogy ma az Európai Unió rendelkezik – a sokféle nehézség ellenére is – a leginkább reményteli jövővel, az e jövő építéséhez leginkább elfogadható koncepciókkal s a leghatékonyabb szervezetekkel is. (Ennek már a korábbi, az Uniót erősíteni kívánó – bár távolról sem mindig sikeres – tárgyalások előtt is jelentősége volt. L. erre: Holland, 1993.) A szakirodalom röviden a következőkben látja az Európai Unió unikális sajátosságait.

Mindenekelőtt az Uniónak van ma a legfejlettebb és a legkomplexebb intézményi struktúrája. A tagországok kormányai igen magas politikai szinten és rendszeresen találkoznak. Jelentős hatáskörrel kialakított hivatali struktúra és széles jogkörrel rendelkező nemzetközi bíróság biztosítja az Unió elveinek és elfogadott szabályainak rendszeres és folyamatos „kormányzati” működését. Az Európai Unió *nem felelős más nemzetközi szervezetnek*, és ezzel együtt a tagállamok fontos kezdeményezési és döntési jogokat adtak át az Uniónak. Így azután

más nemzetközi szervezetekhez viszonyítva messze nagyobb döntési lehetőségekkel rendelkezik. Ez a jogköre ma is olyan nagy, hogy adott esetben, különösen két tagállam (az Egyesült Királyság és Dánia) sokallja is az Unió szupranacionális döntési lehetőségeit. (Nugent, 1995:430–431.) Mégis, inkább várható a szupranacionalitás „automatikus” növekedése, mint visszaszorítása. Jóllehet az említett felfogás az Egyesült Királyságban a Labour-kormányral sem változott (holott az 1997. évi választásokig egyes tagországokban, elsősorban Németországban és Franciaországban ellentétes várakozások éltek). Az angol munkáspárti kormány mind a mai napig igyekszik visszafogni a szupranacionalitás erősödését az Európai Unióban. (Mint ismeretes, az Egyesült Királyság egyelőre nem is vállalata az Unió új pénznemének, az eurónak a bevezetését.)

Az Európai Unió szervezeti és funkcionális változásaiból azonban – különösen, ha e változások egyre inkább áttevődnek a gazdasági szférából a politikai, kormányzati és igazgatási szférába is – egyre inkább születnek olyan felvetések, amelyek az Unió erősödését összekapcsolják a demokrácia „visszaonulásával”, illetőleg, enyhébb kifejezést használva: „átalakulásával”. Vannak olyan nézetek, amelyek szerint a választók nem képesek befolyásolni az euro-testületek összetételét. Sőt, megjelent az az álláspont is, hogy az Unió egészében véve *nem* olyan politikai rendszer, amelyben a választói akaratot kifejező szavazások nagy jelentőséggel bírának, vagy amelyben a tisztségviselőket a választók felelősségre vonhatnák tevékenységükért. (Schmitter, 1995:7.)

Történeti példákból kiindulva azonban aligha meglepő, ha az Európai Uniónak már a jelen fejlettségi szintjén bekövetkező változások is felvetik a tagállamok és az Unió demokratikus berendezkedése jövőjének kérdését. A demokratikus berendezkedés „klasszikus” formában a görög városállamokban élt, amelyben ugyan a rabszolgákat – elvileg és gyakorlatilag is – kizárták az államügyekben való felelős döntési részvételből (hogy más, a státusukból adódó hátrányokat most ne említsem), és a döntésben való részvétel más természetű korlátozottsága is megmaradt századunk első évtizedéig. A demokratikus államberendezkedés napjainkig természetesen, s ami a legellentmondásosabb, sokat változott. Ha a demokratikus politikai intézmények formailag gazdagodtak is, tartalmilag sok tekintetben korlátozottabbá váltak. Az egyén politikai döntési lehetősége – mondhatnánk szükségszerűen – *tartalmilag* szűkebbé vált. A társadalom, a gazdaság, a technika fejlődése, a tömegkommunikáció egyre inkább erősödő befolyásolási lehetőségei egy szuverén demokratikus államban is egyre inkább formálissá teszik az egyéni politikai döntést.

Még inkább kérdéses, hogy az egyéni választás *érdemi döntésként* való megjelenése hol és hogyan kap helyet az Unió – szükségképpen rendkívül összetetté váló – politikai mechanizmusában. E probléma megoldásának nehézsége mindinkább világossá válik. Az Európai Parlament munkája, döntéseinek formális jellege arra figyelmeztet, hogy a döntés érdemivé válása és hatékonyságának biztosítása érdekében mind tartalmi, mind formai szempontból túl kell lépni a hagyományos struktúrákon. Ennek érdekében és a demokratikus berendezkedés hagyományos formái mellett újak keresésére is szükség van.

A kérdéssel foglalkozó szakirodalom végkövetkeztetése szerint a demokrácia, a legitimitás és a hatékonyság problémája az Európai Unión belül *nem* oldható meg a tagállamok jelenlegi jogi helyzetéből kiindulva. A megoldás új, a jelenlegi korlátoktól elszakadt gondolkodást igényel, ám ez lassú folyamat, és kiteljesedése semmiképpen sem várható a közeli jövőben. (L. erre Andersen–Eliassen, 1996.) Meggyőződésem azonban, hogy az Unió működése és a demokrácia összeegyeztetése az idő múlásán túlmenően *új típusú politikai és intézményi gondolkodást* is igényel. Egy új politikai jelenség rendkívül komplex problémái és a politikai berendezkedés hagyományos, de megőrzendőnek látott értékei, valamint új intézmények és értékek megjelenése, mi több, mindezek összeegyeztetése hosszú időt és sok tapasztalatot igényel. A tagállamok jelentős mértékben még mindig eltérő vagy annak felfogott érdekei, a hozzájuk társult gondolkodástól való elszakadás nehézségei azonban valószínűleg még hosszabb időre eredményesen nehezítik az új szervezeti, cselekvési és gondolkodási módok áttörését.

Mindez sajátos problémát jelent az utóbbi tíz évben a demokráciába törekvő számára már egyre inkább kiépített, ám hagyományos demokratikus intézmények között élő kelet-közép-európai országok számára. Ezekben ugyanis esetleg relatíve gyorsan kell átlépni a tradicionális demokrácia alig megszokott formáiból, intézményeiből az Európai Unió gazdasági és társadalmi meggyökeresedésével együtt járó politikai rendszer most még kevésbé belátható intézményeibe.

Irodalom

- Andersen, S. S. and Eliassen, K. A.: Introduction: Dilemmas, Contradictions and the Future of European Democracy. In: Andersen S. S. and Eliassen, K.: *The European Union: How Democratic Is It?* Sage, London, 1996.
- Andersen, S. S. and Burns, T. L.: The European Union and the Erosion of Parliamentary Democracy: A Study of Post-parliamentary Governance. In: Andersen–Eliassen: *The European Union: How Democratic Is It?* Sage, London, 1996.
- Andersen, S. S. and Eliassen, K. A.: Democracy: Traditional Concerns in New International Settings. In: Andersen–Eliassen: *The European Union: How Democratic Is It?* Sage, London, 1996.
- Holland, S.: *The European Imperative. Economic and Social Cohesion in the 1990s.* Spokesman, Nottingham, 1993.
- Kearns, J. Eastern Europe in Transition into the New Europe. In: Gamble, A. and Payne, A.: *Regionalism and World*, Order MacMillan Press Ltd., Houndmills etc., 1996.
- Kulcsár K.: A nemzetközi viszonyok a második világháború után. (Változások és elméletek.) In: Az integráció: történelmi kihívások és válaszkísérletek. *Európai tanulmányok*, 2. Szerk.: Kulcsár K. MTA Politikai Tudományok Intézete, Budapest, 1998.
- Linz, J. J.–Stepan, A.: *Problems of Democratic Transition and Consolidation.* The John Hopkins University Press, Baltimore and London, 1996.
- Ludlow, P.–Ersboll, N.–Barre, R.: Preparing for 1996 and a Larger European Union: Principles and Priorities. *Centre for European Policy Studies*, Brussels, 1995.
- Mazey, S.: The Development of the European Idea. In: Richardson, J.: *European Union.* Routledge, London and New York, 1996.
- Nugent, N.: *The Government and Policies of the European Union.* The Macmillan Press Ltd., London, 1995.
- O'Neill, M.: *The Policies of European Integration.* Routledge, London and New York, 1966.
- Richardson, J. (Ed.): *European Union. Power and Policy-Making.* Routledge, London and New York, 1996.

Szücs T.–Kende T.: Maastricht árnyékában. *Európai Tükör*, II. évf. 6. sz., 1997.

Valki L.: Az Európai Unióhoz csatlakozó államok szuverenitása. *Európai Tükör*, II. évf. 3. sz., 1997.

A regionális és a városfejlődés kihívásai

Bevezetés

A századvég alapvető kihívása, hogy hazánk regionális és településfejlődése minden korábbinál nagyobb mértékben függ globális és nemzetközi nagytérési gazdasági és társadalmi folyamatoktól. A nemzetközi nagyrégiók formálódása, az európai városverseny kibontakozása az európai piacgazdaságokban több évtized fejlődésének eredménye. Közép-Európában e jelenségek a poszt szocialista átmenet szűk évtizedébe szorultak bele, miközben sem a piacgazdaság, sem a határon átnyúló kapcsolatok nem működtek megfelelően. A kihívás jelentőségét aláhúzza, hogy az Európai Unió belül a régiók és települések versengését a gyengébbek védekezőmechanizmusa nem korlátozhatja. Ily módon csupán néhány évünk van olyan „erős pontok” szerzésére, melyek a versenyben való helytállásunkat javíthatják. Ez nem másodlagos kérdés – a tőke nem absztrakt makroökonómiai modellekbe települ, hanem konkrét telephelyekre. Ha nem talál megfelelő települési helyet, odébbáll, még kedvező makrogazdasági mutatók és kedvező gazdasági törvénykezés esetén is.

A hazai területi egyenlőtlenségek sok politikai figyelmet kapnak, ám konzisztens regionális politikával eddig egyik kormányzat sem rendelkezett. A fejlettség vagy az elmaradottság strukturális alapú jelenség, a társadalom, a gazdaság szerkezete pedig lassan módosul. Különösen így van ez napjainkban, amikor a fejlett országok gazdasági fejlődésének fő forrása az emberi erőforrás minősége – ami alapvetően csak generációs időléptékben javítható. A politika azonban gyors sikerre vágyik, ezért a hazai regionális fejlesztés céljai között jórészt ágazati részfeladatok gyorsan teljesíthető és felavatható projektjei szerepelnek, melyek nem faragják le a strukturális hátrányokat.

A területfejlesztés nem gondolkozhat csupán államhatárokon belül, s nem számolhat csupán hazai erőforrásokkal. Céljai megfogalmazásában össze kell egyeztetni az EU céljait (amennyiben forrásait is igénybe kívánjuk venni) s a hazai területi egyenlőtlenségek mérséklésének kívánalmait. *Ez az első kihívás: megfelelni az EU területfejlesztési feltételeinek s eleget tenni a hazai területi különbségek mérséklését kívánó közóhajnak.*

Az elmúlt 25 évben általánossá vált az Európán belüli városverseny. Az európai nagyvárosok versengve is összekapcsolódtak, kiléptek régiójuk, gyakran országuk keretéből. Kontinensünk gazdaságát ma inkább egy városhálózat irányítja, mint az országok közötti együttműködés. A versengés a mobil tőkéért, nemzetközi hatókörű intézményekért, nagy vonzásterületű kulturális tevékenységért folyik. A magyar városok bekapcsolódása a hazai gazdaságnak és szerkezetének fejlődését is erősen befolyásolja. Egyetlen nagyvárosunk van, Budapest, mely részt vehet az európai metropolisz-integrációban. *A másik nagy kihívás: milyen szinten, milyen szerepekkel lehet része Budapest a kontinensnyi városrendszernek?*

E dolgozat témája e két kihívás vázlatos áttekintése.

Az EU-csatlakozás és a magyar regionális fejlődés

A regionális politika jelentősége az EU-ban

Az Európai Unió (illetve elődszervezetein) belül a közös területfejlesztési politika jelentősége fokozatosan erősödik. 1975-ben a területfejlesztésre fordított közösségi kiadások a költségvetés 4,8%-át, 1997-ben 35%-át tették ki. Ez jelenti – az agrártámogatások után – az Unió második legnagyobb finanszírozási tételét. Húsz éve az agrártámogatás még tízszerese volt a területfejlesztésének, ma mindössze 30%-kal nagyobb. E változás a következőkkel magyarázható:

- A területfejlesztés sokkal több embert érint. A regionális fejlesztési alapokból részesedő területeken 186 millió ember él – az Unió lakosságának mintegy fele –, míg mezőgazdasággal csak 10 millióan foglalkoznak (a közvetett hatások az élelmiszeriparon, kereskedelmen, szakképzésen stb. keresztül még 50 millió embert érinthetnek).
- Az Unió eddigi területi terjeszkedése többnyire növelte a belső területi egyenlőtlenségeket, különösen a dél-európai államok (Portugália, Spanyolország, Görögország) és Írország csatlakozása. A német egyesülés után 1991-ben a volt NDK területe is az elmaradott térségek közé került, s – az egyre csábítóbb méretű alapok megcsapolásának reménye – egy sor más fejlett nyugat-európai országot is elmaradott területeinek bővítésére ösztökélt. Az 1995. évi bővülés során az Unió elmaradott térségeinek száma csak Burgenlanddal gyarapodott.
- Az Unión belüli területi egyenlőtlenségek jelentősek (érthetően jóval nagyobbak, mint Magyarországon) és tartósak. A nagy különbségek gyengítik az Unió politikai egységét. A különbségek tartósságát jelzi, hogy az elmúlt évtizedben a legfejlettebb és a legkevésbé fejlett¹ 22-22 régió között a

¹ Az egy lakosra jutó bruttó hazai termék értéke alapján számolva.

különbség változatlan maradt, s változatlan maradt a régiók listája is. A gyorsan növekvő támogatások ellenére sem sikerült közeledést elérni – s egyetlen elmaradott régiónak sem sikerült tíz év alatt kiemelkednie. Ezért sokan megkérdőjelezik a területfejlesztési támogatások hatékonyságát – azt persze senki nem tudja megmondani, hogy mekkorára nőttek volna a különbségek a regionális politika nélkül, s e növekvő különbségek mekkora vándorlást indítottak volna el az Unión belül. A területi egyenlőtlenségeket az egyes régiók eltérő teljesítőképessége okozza, emögött pedig nehezen s lassan módosítható ágazati szerkezeti különbségek, a termelékenység különbségei, a munkaerő színvonalának különbségei, az infrastrukturális különbségek húzódnak meg.²

- A régiók nyomásgyakorló ereje növekszik, az agrárlobbyé gyengül. Az Unión belül a nemzetállami döntéshozatali kompetencia gyengül – egy része nemzetek feletti testületekhez kerül (az Unió központi szervezeteihez), más része jellemző decentralizációs folyamat eredményeként a régiókhoz, az állami szint alatti területi önkormányzatokhoz. A decentralizáció természetesen a szövetségi államokban a legerőteljesebb, de figyelemre méltó Olaszországban, Spanyolországban s Nagy-Britanniában is. A közös agrárpolitikát rövidesen felülvizsgálják; egyre szélesebb körben kérdőjelezzik meg, hogy miért tartják fenn az amúgy mérsékelt gazdasági jelentőségű mezőgazdaság versenyképtelen részét az adófizetők terhére, amikor más ágazatokkal (bányászat, kohászat, általában a hagyományos iparágak) ezt nem teszik. Az ipari depressziós régiókat a szerkezetváltás érdekében, s nem a hagyományos szerkezet fenntartása érdekében ösztönzik.³ Valószínű, hogy az Unió költségvetésének rövidesen a területfejlesztési célú alapok teszik ki a legnagyobb részét.

A kelet-európai bővítés várható hatásai

A kelet-európai bővítés – bár még nem tudjuk, hogy mikor s a társult országok mely csoportjára vonatkozóan következik be – csökkenti az Unió általános gazdasági színvonalát. Az első szakaszban várhatóan taggá váló öt ország valamennyi régiója fejletlennek minősíthető a jelen ismérvek szerint (az egy lakosra jutó GDP nem éri el az Unió átlagának 75%-át), s alaposan elmarad az Unió jelenlegi szegényeitől, a görögöktől és portugáloktól. Ezzel az elmaradott, tehát az uniós költségvetésből támogatást nyerhető régiók lakossága bő 60 millió fővel, 40%-kal növekedne. Mivel az Unió szempontjából az új tagállamok egész területe elmaradott, az egyes országok belső egyenlőtlenségeivel a nemzeti területfej-

² Az EU regionális politikájának alakulását részletesen elemzi Horváth, 1997.

³ Mindez bonyolult kérdés: az agrártevékenység speciális ágazat. Foglalkoztatását más ágazatok átvehetik, ám földművelő szerepét nem. A mezőgazdaság nemcsak termékkibocsátásáért, hanem a kultúrtáj konzerválásáért is igényt tarthat támogatásra.

lesztési politikáknak kell foglalkoznia. A posztszocialista tagjelöltek belső egyenlőtlenségei nem különösen nagyok, hasonlóak a legtöbb nyugat-európai országhoz – csak jóval alacsonyabb színvonalon. E viszonylag kiegyenlített regionális szerkezet – a közhiedelemmel ellentétben Magyarországon sem más a helyzet – a szocialista időszak egyenlősítő politikájának az eredménye: alacsony gazdasági színvonal mellett a piacgazdaságokban általában nagyobbak a területi egyenlőtlenségek (mert jobban érvényesül a csak kevés régióban jelen lévő jó gazdasági teljesítőképesség differenciáló hatása). Nem véletlen, hogy a piacgazdaságra történő átmenet mindegyik posztszocialista országban együtt járt a területi egyenlőtlenségek erősödésével.

Az Unió területfejlesztési céljait két alap szolgálja (melyek az Unió reformja során átalakulhatnak). A Kohéziós Alap főleg közlekedési infrastruktúra-fejlesztést és környezetvédelmi beruházásokat támogat. Az Unió részaránya a költségek 85%-át is elérheti. A Strukturális Alapok a kedvezményezett régiók gazdasági szerkezetváltásának különböző módozatait támogatják, a költségek 50–75%-át vállalva. Számítások készültek, hogy ha Magyarország már tag lenne, mennyi területfejlesztési forráshoz jutna 1999-ben. (Horváth–Illés, 1997.) Ez az összeg 2–2,5 milliárd dollár lehetne, azonos lenne a feltételezett külföldi tőkebefektetéssel. Ez is jelzi, hogy az Unió költségvetéséből hazánk jelentős mértékben részesedhet. Ám ez nem adomány: nemcsak saját részzel kell a támogatást kiegészíteni, hanem meg is kell felelni a programok szigorú pályázati feltételeinek, el kell bírni a felhasználás ellenőrzését stb. Régebbi tagországok esetében is előfordul – erre Görögország gyakran idézett példa –, hogy az elméletileg rendelkezésre álló összegeket nem tudják felhasználni. E jelentős forrásokhoz csak akkor juthatunk hozzá, ha megszerzésükre megfelelően felkészülünk.

Megjegyzendő, hogy az EU-támogatás a közösség, és nem az egyes tagállamok nemzeti területfejlesztési politikáját óhajtja érvényesíteni. Ezért nagyon is elképzelhető, hogy az EU-támogatás (miközben segíti az ország felzárkózását) növeli az országon belüli területi egyenlőtlenségeket. Az EU elosztási rendszerében nem fordulhat elő, hogy Északkelet-Magyarország az összes területfejlesztési jellegű támogatás 88%-át, Közép-Magyarország pedig 0,1%-át használhassa fel, mint ez 1991 és 1997 között történt. A fejlettebb régiók feltehetően jobb szakértelmet tudnak felvonultatni a pályázatok készítésében, több esélyük van elnyerésükre, több lehetőségük a társfinanszírozásra. Az Unió a magyar határon átnyúló területfejlesztési programok közül az osztrák–magyar határzóna fejlesztésében érdekelt, míg a magyar területfejlesztési politika inkább a keleti határövezeteket célozná meg.

Összegzésként megállapíthatjuk, hogy a keleti kibővülés az EU regionális politikáját és a tagjelöltek regionális fejlődését erősen befolyásolja. Hazánk is jelentős külső erőforrásokhoz juthat, ám ezek elnyerésére alaposan fel kell készülni.

Szükséges változtatások a magyar regionális politikában

Az EU kohéziós politikáját hosszú távra felvázoló *Agenda 2000* a csatlakozni kívánó posztszocialista országok közül Magyarországról állította ki a legjobb bizonyítványt. Fő erősségünk, hogy 1996 óta, egyetlen országként Kelet-Közép-Európában, van területfejlesztési törvényünk, melynek alapelvei megfelelnek az Unió célkitűzéseinek. Van azonban elég teendőnk is, melyeket a tárgyalási időszakban el kellene végeznünk.

A szükséges fő változtatásokat az alábbiakban foglalom össze (részletesen elemzi Horváth, 1997).

- a) *Forráskoncentráció és a finanszírozás reformja.* Jelenleg a hazai területfejlesztési források összességükben nem jelentősek, kilenc tárca között – koordinálatlanul – szétapróztak, céljaik gyakran változnak. Az EU-forrásokhoz való hozzájutás lehetősége érdekében kevesebb támogatási cél, erősebb kormányzaton belüli koordináció szükséges. Másfelől biztosítani kell a helyi önkormányzatok sajátforrás-felhalmozó lehetőségét, a több évre szóló pénzügyi tervezés lehetőségét, nagyobb kompetenciáját saját térségük fejlesztésében.
- b) *Régióépítés.* Az EU strukturális alapjaihoz való hozzájutásnak feltétele Magyarországon olyan nagyrégiók kialakítása, amelyekre fejlesztési koncepciók s programok dolgozhatók ki, s beilleszthetők az EU területfejlesztési egységei közé. Hosszú ideje folyik Magyarországon vita, hogy változtassunk-e a megyerendszeren. Legyen-e 6 vagy 7 régió a 19 megye helyett? A megyerendszernek mindig erős és sikeres védelmezői akadtak, s így hazánk az egyetlen közép-európai ország, mely nem reformálta meg közigazgatási területbeosztását ebben az évszázadban. A vitában van esélye a kompromisszumnak: megmaradhat a megyerendszer, amennyiben ezt oly sokan kívánják, és kialakítható az a *nem* közigazgatási, hanem fejlesztési célú régiórendszer, amely megfelel az EU régióinak (azok sem mindenütt közigazgatási egységek). Ehhez persze a régiók fejlesztési tanácsait pénzforrásokkal, tervezési és döntési kompetenciákkal kell ellátni. Erre az átalakításra a területfejlesztési törvény lehetőséget ad.
- c) *A támogatások új elosztási mechanizmusa.* A hazai változtatások e témakörben három területen indokoltak. Először is az EU-támogatásokat nem mindenáron kell megszerezni, hanem meg kell fontolni, hogy ezek mely esetben hasznosak s mikor károsak a hazai területi fejlődés számára. A hazai forrásokból fedezett területfejlesztési programok célrendszere esetenként eltérhet az EU-célkitűzésektől (pl. mint már erre a területi egyenlőtlenségek fokozódásának lehetőségénél rámutattam). Az is mérlegelendő, hogy az EU-célkitűzéseknek megfelelő fejlesztés magyar hozzájárulása mennyire köti meg a hazai területfejlesztési alapok felhasználását.

A másik fontos elem, hogy szükség van átfogó, a gazdaságpolitika szerves részét képező regionális fejlesztési stratégia s az azt megvalósító programok kidolgozására. Említettem, hogy az elmaradottság strukturális jellegű, módosítása

csak hosszú távon, (gazdasági és társadalmi) szerkezeti változtatásokkal lehetséges. A magyar regionális politika a helyi problémák tüneti kezelését helyezi előtérbe, akár települési szinten is. Ez erősen eltér az EU gyakorlatától.

Harmadszor pedig ki kell építeni s egyértelmű jogi szabályozással ellátni a területfejlesztés döntési és végrehajtási intézményrendszerét. Ilyen intézményrendszer ma is létezik, a területfejlesztési törvény életbelépése óta alaposan megerősödött, de még sok új elemre van szükség. Főleg regionális szinten van szükség olyan szakértő szervezetekre, melyek képesek professzionális programok készítésére s azok megfelelő menedzselésére.

Budapest a nemzetközi városversenyben

A magyar városrendszer számára a kihívást a nemzetközi városversenybe való bekapcsolódás jelenti. Ebben a magyar főváros esélyei eltérnek a vidéki nagyvárosokétól. Ez utóbbiak nemzetközi kapcsolatrendszere kisebb távolságon belül, a határon átnyúló szálakból szövődhet. Budapest az egyetlen, mely méreténél, gazdasági erejénél fogva bekapcsolódhat az európai városversenybe.

Az Európai Unió belüli integrációt, az európai régióknak a globális folyamatba való bekapcsolását egyre inkább a nemzetközi nagyvárosok végzik. Ezek különböző jelentőségűek: az első vonalba a világ gazdasági szerepű városok tartoznak; a másodikba Európa nagyrégióinak központjai vagy specializált európai központok; a harmadikba a nagyrégiók alközpontjai. E harmadik sorba tartozik a magyar főváros olyan (nála fejlettebb) társakkal, mint Barcelona, Lyon vagy Bécs. Budapesthez a nemzetközi városi szerepkörök közül a kapuváros-szerep tartozhat. E szerepre olyan nagy városi központok alkalmasak, melyek a fejlett és a fejletlen régiók határzónájában helyezkednek el. Képesek arra, hogy a fejlett régióból érkező innováció-, információ-, tőke-, termék- és termelési kapcsolatarámlásokat befogadják, feldolgozzák és saját régiójuknak továbbítsák. Ez a szerep tehát nem egyszerű tranzitfeladat, prosperitást adhat a városnak és régiójának is.

A továbbiakban számba vesszük, hogy a kapuvárosi működés feltételei milyen mértékig vannak jelen Budapesten.

1. *A városméret és a földrajzi fekvés.* Budapestet mérete (az agglomeráció 2,5 millió lakosú, Közép-Európa egyik legnagyobb városa) és földrajzi fekvése alkalmassá teszi a kapuváros-szerepre. A város népességmérete azért fontos, hogy elég nagy piacot nyújtson teljes körű üzleti szolgáltatásokra, képes legyen sokféle oktatási és kulturális intézetet eltartani, rendelkezze a metropolist jellemző kapcsolati előnyökkel.
2. *A nemzeti és nemzetközi kapcsolatrendszer.* A főváros közismerten az ország kiemelkedő központja, az ország minden részével erős és sokoldalú a kapcsolata, a befogadott információk vagy innovációk elterjesztésének nincsenek hálózati akadályai.

A nemzetközi kapcsolatrendszer igen egyenetlen: az innovációs befogadásra igen alkalmas, ám az elterjesztésre – éppen Kelet- és Délkelet-Európa felé, a város

fő potenciális befolyási területén – a fejletlen gazdaság, esetenként politikai előítéletek s az eltérő törvényi szabályozások miatt is akadályozott.

3. *Budapest tőkevonzó képessége* Közép-Európa városai között kiemelkedően jó. 1990–1997 között kb. 10 milliárd dollár működőtőke telepedett a magyar fővárosba, elsősorban a feldolgozóiparba s a magas szintű üzleti szolgáltatásokba. A beruházásokban kiemelkedő szerepet játszottak a transznacionális nagyvállalatok, amelyek közvetlenül bekapcsolták a várost a globális gazdasági folyamatokba. A piacszerzési cél mellett erősödik a stratégiai cél: egész Kelet-Közép-Európára kiterjedő vállalati híd főállás kiépítése.

Az 1990-es évek első felében a külföldi tőkebefektetések főleg az állami vállalatok privatizációjához kapcsolódtak, ez is indokolta a budapesti koncentrációt. Jelenleg általánossá váltak az új, zöldmezős beruházások, melyek a termelést – az alacsonyabb költségek miatt – vidékre telepítik. A vállalati irányítás, a szabályozási szerepek betöltése, a stratégiai döntéshozatal Budapesten marad. A tőke vonzása és a területi elosztásában való részvétel a kapuszerep érvényesülését jelzi.

4. *Az infrastruktúra fejlettsége.* A kapuszerep betöltéséhez a kommunikációs infrastruktúra fejlettsége a legfontosabb. E szempontból Budapestnek a nemzetközi hálózatokhoz való jó kapcsolódása, valamint a Budapest–vidék kapcsolatok kiépítettsége és sűrűsége egyaránt fontos.

Az 1990-es évek elején az ország távközlése igen alacsony színvonalú volt, azóta látványos fejlődés következett be, s elmaradottságunk mérséklődött. Budapesten a 100 lakosra jutó telefonfővonalak száma megkétszereződött, 23-ról 45-re nőtt (s ezzel elérte Bécs 25 év előtti színvonalát). A vidéki koncessziós fejlesztések a főváros–vidék kapcsolatokat is lényegesen megjavították. Budapestnek kiemelkedő a szerepe a nemzetközi távhívásokban (az országos forgalom 80%-a!). Gyors növekedésük is jelzi a nemzetközi szerepek erősödését.

Dinamikusan fejlődnek az elektronikus adatátvitel különböző formái is, melyeknek Budapest kiemelkedő központja. Az internet-használók közel 70%-a budapesti, a számítógép-állomány fele található a fővárosban. A kelet-közép-európai régióban a magyar főváros máris jelentős információgyűjtő és -feldolgozó központnak minősíthető.

A közlekedési hálózatok fejlődése jóval költségesebb s lassabb. A magántőke részvétele korlátozottabb, tehát az állami közlekedéspolitika alapvetően befolyásolhatja Budapest közlekedésiközpont-szerepét. Az út- és vasúthálózat Budapest-központúsága közismert, ez a kapuvárosszerepet erősíti; a vasutak rossz műszaki állapota, az országhatárt (az osztrák kivételével) el nem érő autópályaszakaszok, a gyakorlatilag egyetlen nemzetközi repülőtér inkább a főváros szigetjellegét erősíti.

Összefoglalva: úgy vélem, hogy a kommunikációs infrastruktúra a nyugati innovációk, hatások Budapestre jutásához megfelelő, az országban vagy a szomszédos országokban való elterjesztéséhez nem eléggé fejlett.

5. *A képzett munkaerő és a K+F szektor jelenléte.* Budapest – számtalan oktatási intézményével s vándorlási vonzásával – a képzett munkaerő bő forrása. A nemzetközi vállalatoknál végzett felmérés szerint a külföldi befektetők

igen elégedettek a magyar munkaerő színvonalával, nem csak az alacsony bérek jelentik a vonzást. A gazdasági szerkezet átalakulása a tudásigényes ágazatok arányát növelte, melyek sok, felsőfokon képzett szakembert igényelnek.

A magyar főváros további előnye nagy oktatási kapacitása, mellyel új feladatok megoldására képes gazdasági menedzsereket és más értelmiségieket az egész közép-európai régió részére képez. Ilyen pl. a Nemzetközi Menedzserképző Központ, a Nemzetközi Bankárképző Központ, a Közép-európai Egyetem, a budapesti egyetemek angol és német nyelvű fakultásai stb.

Fontos vonzerő a kutatás-fejlesztési kapacitás. A K+F alkalmazottak jelenléte szükséges a jól működő technológia-transzferhez, az innovációk honosításához, a magyar gazdaságba való beillesztéshez. A K+F tevékenység súlyos finanszírozási gondokkal küzd – a ráfordítások reálértékben az 1989. évinek 36%-ára estek vissza –, ám a csökkenés nem olyan mértékű, mint a közvélekedés tartja. Korábban a termeléstől elkülönült ipari kutatóintézetek ugyan sok kutatót foglalkoztatnak, de az ipar műszaki fejlődésére nemigen voltak hatással. Kevés újítást produkáltak, azok is ritkán kerültek termelésbe. A K+F szektor szerkezetében átalakul: megjelentek a transznacionális nagyvállalatok hazánkba telepített kutatásai, továbbá sok kis innovációs tanácsadó vállalat működik, melyek tevékenységéről nincsenek adatok.

A budapesti munkaerőpiac nem szűkülökodik szakképzett munkaerőben. Alkalmas a kapuszerep ama részének megvalósítására, amely a befogadott innovációk feldolgozását, honosítását, adaptálását jelenti.

6. *A magas szintű üzleti szolgáltatások jelenléte.* A kapuszerep gyakorlásának egyik feltétele, hogy a magas szintű üzleti szolgáltatások széles köre legyen jelen a városban, s e szolgáltatások szakszerűen működjenek. A pénzügyi szolgáltatások, biztosítás, tanácsadó cégek, tőzsde stb. összekapcsolódó hálózata a termelő beruházások vonzásának is előfeltétele.

A magyarországi bankrendszer viszonylag fejlett, szabályozásában igyekszik a fejlett világ normáit követni, melyet a külföldi többségi tulajdon is megkönnyít. Az értéktőzsde tőkepiaci szerepe mérsékelt. A bankok kicsinyek, tőkeellátásuk nem megfelelő. A teljes magyar bankrendszer eszközállomány-értéke nem éri el egy közepes méretű nyugat-európai bankét, de erősen elmarad a csehországi értéktől is. Ezért a hazai nagyvállalatok finanszírozási igényét csak részben tudják ellátni. A magyar bankrendszer gyorsan fejlődik, Magyarország számára betölti a kapuszerepet.

Ami Budapest nemzetközi pénzügyiközpont-szerepét illeti, mely gyakran szerepel a várospolitikai célok között, ez jelenleg nem látszik valószínűnek. Sem a nemzetközi trendek (a pénzpiacok globálisan koncentrálnak), sem a nemzetközi analógiák (nincsenek nemzetközi pénzügyi központok kicsiny és gyenge gazdasági háttérrel), sem a Közép-Európában befektető bankok üzletpolitikája (egyáltalán nem koncentrálnak beruházásaikat sem Budapesten, sem más városban, hanem sok helyen nyitnak fiókokat, melyeket Közép-Európán kívülről irányítanak), sem a közép-európai országok közötti tőkeáramlás mérete nem utal

régiókban egy regionális pénzügyi központ kialakulására. A várospolitikának inkább a termelésirányításban betöltött jelentős budapesti szerepre kéne figyelnie: az ipar ma is jelentős tényezője a városi gazdaságnak.

7. *A városi élet minősége.* A kapu-városnak ki kell elégítenie a nemzetközi üzleti élet huzamosabb ideig itt tartózkodó tagjainak, valamint átlag feletti képzettségű s jövedelmű polgárainak igényeit. Több felmérést (pl. az MTA RKK „Budapest – nemzetközi nagyváros” vizsgálatot) figyelembe véve megállapítható, hogy Budapest nemzetközi minőségű nagyváros. A tartósan itt tartózkodó nyugat-európaiak általában elégedettek a városi szolgáltatásokkal, az iskolarendszerrel, a kulturális kínálattal. A városi élet megfelelő minőségét az igényes – kulturális, konferencia- – turizmus jelentősége is igazolja. Budapest a nemzetközi konferenciák világlistáján (a konferenciák számát tekintve), évente persze váltakozva, a 15. hely körül található – Bécs és Prága mögött.

8. *A helyi társadalom* általában jól fogadja a nemzetközi nagyvárosszereppel együtt járó multietnikus együttélést. Két generációval korábban Budapest még többnemzetiségű város volt: az idősebb generáció számára nem meglepő az utcán az idegen beszéd, az idegen étkezési vagy kulturális szokások jelenléte. Budapesten sok első generációs falusi bevándorló is él, akik számára mindez kevésbé természetes. A külföldiek beilleszkedése nem egyértelmű. A „nyugatiakat” jól fogadják, ám ők általában csak átmeneti időre telepednek le a magyar fővárosban. Nehezebb a beilleszkedése a volt Szovjetunió területéről és Ázsiából jött bevándorlóknak. A befogadást nehezíti a sok illegális bevándorló. A fő aggály nem a munkahelyek feltétele, hanem a bűnözés növekedésétől való félelem. Az is befolyásoló tényező, hogy az Európai Unió, melynek országai évtizedekig a befogadásra, betelepítésre adtak példát, most a bevándorolni vágyók távol tartását várják el tőlünk.

Általában megállapítható, hogy a helyi társadalom viszonylag könnyen befogadja a külföldieket, a nemzetközi nagyvárosokban kialakult fogyasztási és kulturális szokások, a transznacionális nagyvállalatok munkaszokásai gyorsan megjelennek a magyar fővárosban; a helyi társadalom nyitott, jó alkalmazkodóképességű.

9. *A konfliktuskezelő várospolitikai.* Budapest prosperálása s gyors átalakulása számos új problémát okozott, melyek rontják a város előnyös adottságait. Ezek főleg társadalmi feszültségekben, környezeti ártalmakban, közlekedési túlterheltségben jelennek meg. A „nagyvárosi társadalmi betegségek” Budapestet is elérték. A rendszerváltás folyamatában gyors volt terjedésük s ismertté válásuk, miközben hiányoztak a védekezés szervezetei és a védekezési módok ismerete. Az biztató, hogy a várospolitika rendelkezik szociális chartával, de átfogó környezetvédelmi programra is szükség lenne. A belvárosi lakóterület fizikai és társadalmi hanyatlása is megköveteli a város-rehabilitáció erősebb érvényesítését.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a magyar főváros külső és belső feltételei a kapuszerep betöltésére többnyire kedvezőek. Budapest minden kétséget

kizáróan Magyarország kapuja, de hogy a határon kívül – nyilván kelet–délkeleti irányban – meddig terjedhet, az ma még nehezen mondható meg. A pénzügyi, kulturális, termelésszervezési, kommunikációs funkciókhoz más-más akcióterületek tartoznak. Közép-Európán belül csak alközponti szerepek képzelhetőek el – nem tudok olyan tevékenységet elképzelni, melyben Budapest lenne az egyetlen regionális központ. Kialakulatlan még, hogy melyek lehetnek a legfontosabb nemzetközi szerepek: az oktatás? a kultúra? a technológia-transzfer? a transznacionális tőke hídfőállása? Nincs a várospolitikának sem világos jövőképe. Mintha a főváros kétségtelen sikerei túlzott magabiztosságot adnának. Budapest városmarketingje – Bécshez és Prágához viszonyítva – gyenge, pedig sürgős lenne erős pontokat szerezni az európai városversenyben.

A dolgozat végső következtetése az alábbiakban foglalható össze: a magyar területi-igazgatási egységek beillesztése az európai régiók rendszerébe, a magyar területfejlesztési politika és az EU regionális fejlesztése harmonizálása, továbbá a magyar főváros sikeres beillesztése az európai nagyvárosi rendszerbe – olyan előttünk álló kihívások, melyekre a sikeres válaszadást a regionális kutatások eredményeinek fegyelembevétele megkönnyítheti.

Irodalom

- Barta Gy. (szerk.): *Budapest – nemzetközi nagyváros. Magyarország az ezredfordulón*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1998.
- Bellon E.: *Lesz-e Budapest nemzetközi pénzügyi központ?* MTA RKK (kézirat), Budapest, 1997.
- Enyedi, Gy.: Budapest: Return to European Competition. In: Ch. Jensen-Butler, A. Shachar, J. van Weesep (eds): *European Cities in Competition*. Aldershot: Avebury, 274–299
- Enyedi, Gy.: *Integration of the Urban System in East-Central Europe*. Bonn: Bfa für Landeskunde und Raumordnung, 1997.
- Enyedi, Gy. (ed.): *Social Change and Urban Restructuring in Central Europe*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 1998.
- Horváth Gy.: Európai integráció, keleti bővítés és a magyar regionális politika. *Tér és Társadalom*, 3 (1997) 17–57.
- Horváth Gy.–Illés I.: *Regionális fejlődés és politika*. Budapest, Európai Tükör – Műhelytanulmányok, 16, 1997.
- Lever, W. F.: Competition within the European Urban System. *Urban Studies*, 6 (1993) 935–948.

Társadalmi zavarok, devianciák, erőszak, bűnözés és a társadalomtudományok válaszai

A címben jelzett témát kriminológusként és büntetőjogászként kívánom megközelíteni. Ezt több okból tartom szükségesnek előre jelezni. Azok a társadalomtudományi ismeretek ugyanis, amelyek a szociológia közvetítésével a bűnözésre, ennek társadalmi beágyazottságára vonatkoznak, a kriminológiában *gyakorlati hasznosítást igényelnek*, praktikus felhasználást kívánnak. A bűnözés–társadalom viszonyára vonatkozó felismerések *társadalomkritikai tartalma* kriminálpolitikai *cselekvési programokban* hasznosul. A „rendszerkritika” tehát akarva-akaratlan *reformgondolatokba* torkollik. Ennek magyarázata igen egyszerű: a bűnözés az egyént közvetlenül érintő problémaként társadalmi reakciót vált ki, és ezzel egyidejűleg közhatalmi (állami) beavatkozásért kiált. Tekintettel azonban arra, hogy a közhatalmi beavatkozás időtlen idők óta a büntető jogalkotás és büntető törvénykezés formájában történik, a szociológiai–társadalomtudományi ajánlások *racionalitása* önmagában nem elegendő az ajánlások közhatalmi programmá alakításához, mert a jogon keresztül, a jog általi szabályozás nem tehet meg mindent, ami ésszerűnek tűnik. A jogi szabályozásnak figyelembe kell vennie a jog autonóm rendszerét, azokat a jogi premisszákat, amelyek a legális beavatkozást legitimé teszik. Természetesen a legitimitást igazoló jogi premisszák rendszerenként változók. A rendszerváltást megelőzően a közösségi érdek primátusa volt a büntetőjogi beavatkozást legitimáló premissza, a rendszerváltást követően pedig az alkotmányosság, az alkotmányos alapjogok és szabadságok tiszteletben tartása. A kriminológiát nemcsak az az ismeretanyag köti, amely a társadalmi folyamatok és a bűnözés alakulása között fennáll, hanem a „személyesített bűnözés”, a büntettek, a bűnbe esett személyek és a társadalom viszonya, a büntettek mint *egyének és a közhatalom viszonya* is.

Mint látható, a bűnözés tömeges és tömegjelenség, amely erre való tekintettel egyrészt elsősorban szociológiai megközelítést kíván, másrészt individuális jelenség is, hiszen büntetessé váló egyének tettei alkotják, és ennyiben pszichológiai jelenség, amely lélektani magyarázatot igényel *az elkövetésre*; végül, de nem utolsósorban jogi jelenség, amennyiben a jog definiál egy tettet bűncselekmény-

ként, a jog rendeli büntetni, és ezzel közvetlen kapcsolatot teremt egyén és közhatalom viszonyában, minek folytán ez a bűncselekménnyé nyilvánítás, ennek indokai, az érdek motiválta szükségesség és az erkölcsi elmarasztaló megítélés ugyancsak kifejtést igényel. A jog varázsköpenye teszi a cselekményt bűncselekménnyé. Ez a láthatóan többdimenziós jelenség kihívást jelentett az emberi gondolkodás számára, és ezért a kriminológiai gondolkodás morálstatisztikai, morálfilozófiai, antropológiai, etnológiai, örökléstani, személyiség-lélektani, politikai vizsgálódások tárgya volt még a kriminológia diszciplinájának kialakulása előtt, illetve ennek keretein kívül. Figyelemre méltó, hogy a bűnözés társadalmi genezisének, illetve a büntetessé válás, az elkövetés genezisének vizsgálata következetesen determinista, és az ajánlott ellenszerek az ok-okozat kapcsolatának természetére építenek. A társadalmi gyakorlat azonban nem nagyon követi az ajánlásokat. Vagy ha igen, rövid kitérő után visszazökken az alapvetően jog uralta, hagyományos megoldásokhoz. A nemi erőszaknak nem ellenszere sem a kasztrálás, sem az amputálás. A büntetettre való társadalmi reakció általában és elsősorban nem okkezelő, hanem a morális és jogi felelősségre apelláló szankcionálás. Ez a tradicionális és konvencionális gyakorlat bizonyítja, hogy nem lehet egyenlőségelet tenni deviancia és bűnözés közé.

Ehhez képest az előadásom címében szereplő devianciákkal csak érintőlegesen foglalkozom. Az nem kétséges, hogy egy viselkedésmód a társadalmi minősítés révén nevezhető deviáns jellegűnek. Nagy azonban a különbség a társadalom értékszempontú minősítése és a közhatalom értékszempontú és *normatív* minősítése között. Az egyszerű értékszempontú minősítés rosszallást fejez ugyan ki, nevezheti a devianciát értéktagadónak, de a társadalmakban szokásos több értékrend okán a deviáns minősítés vitatható. Sőt: adott esetben a deviancia új értékrend előfutára is lehet. Nem ez a helyzet a bűnözésnél. Itt közhatalmi, normatív minősítésről van szó, ami vitatható ugyan, de *kötelező*. Az öngyilkosságot lehet elítélni mint gyávaságot, lehet segítségért kiáltásnak tekinteni, az öngyilkossági kísérletet lehet a környezet zsarolásának felfogni, de lehet a tisztai becsületkódex értelmében kötelességnek is minősíteni. Büntetni azonban nem büntetik, legfeljebb az öngyilkosságban való közreműködést. Az iszákosság megítélése negatív, de büntetendősége szóba sem kerül. Az amerikai „száraz törvény” pedig egyenesen a szervezett bűnözés legkorábbi megjelenési formájához vezetett. Ami ebben az összefüggésben lényeges, az az, hogy empirikus tapasztalatok szerint a visszaeső büntettek nagy része hordozója más devianciáknak, és a *halmozott* előfordulású devianciák nagyrészt ugyanazt a populációszevényt érintik. A magyar társadalmi beilleszkedési zavarok kutatása ezt az egybeesést egyértelműen igazolta. Az tehát lehetséges, hogy vannak szuicid hajlamú, alkoholista vagy neurotikus büntettek, az azonban már nem igaz, hogy például a bűnözés a neurózis transzponálása volna a külvilágba. A devianciával foglalkozó tudományok okkutató és okkezelő szemlélete *visszatérően* rávetül a bűnözésre is, és alapjává válik olyan intézményes kezelésmódnak, amely a büntettest gyógyítani, kezelni, személyiségét átformálni, magatartását korrigálni igyekszik. Ezeknek a kísérleteknek intézményes kudarca az ún. értékelő kriminológiai vizsgálatok révén be-

bizonyosodott. A kezelés és büntetés antinómiáját az *Igazságosan vagy okosan?* című könyvemben részletesen bemutattam. A tanulsága mindennek úgy fogalmazható meg, hogy az érintkezési pontok ellenére a deviancia és a bűnözés nem azonos, hanem jól elkülöníthető két jelenség.

Minekutána a devianciák és a bűnözés együttes kezelésének nyűgétől megszabadultam, rátérek a bűnözés vizsgálatára. Ez lehet, hogy csalódást okoz azoknak, akik a meghirdetett előadáscím alapján mást vártak. A kevesebből azonban talán többet mondhatok. Meggyőződésem, hogy nem lehet a bűnözésről beszélni úgy, hogy közben a devianciára gondolunk.

A bűnözés jogilag tilalmazott viselkedésforma. A tilalmazottság révén azonosíthatjuk a bűnöző magatartást. A tilalmazottság közös jegye számtalan, több száz jól elkülöníthető, egyedi tettet foglal egységbe. Ez a színes választék az élet elleni támadásoktól a tulajdont sértő tetteken át az igazságszolgáltatás elleni büntettekig, a közlekedési bűncselekményekig, az emberi becsület és méltóság meggyalázásáig terjed. És akkor nem szóltam még a háborús bűncselekményekről, az adócsalásokról és a vámszabályok kijátszásáról stb. A tettek tilalmazása révén a büntetőjog átfogja a társadalmi élet szinte minden területét, és ebből a változatosságból, inhomogenitásból a tilalmazottság révén teremti *egyneműséget*. Míg a családjog a házasság és család intézményét szabályozza, a civiljog a vagyoni életviszonyokat, a közigazgatási jog az állami és közhatalmi adminisztrációt, az alkotmányjog pedig az alkotmányos intézmények működését regulálja, ilyen *tárgyazonosság* a büntetőjogban nincs. Ezért mondhatjuk, hogy a büntetőjog a jogrendszer egészének szankciós zárköve. A *tilalmazottság* mellett, mint *normatív* ismérv mellett van azonban egy olyan *léttani* azonosság és homogenitás is, aminek felismerése kulcsfontosságú minden elemzés számára – lett legyen ez az elemzés szociológiai, szociálpszichológiai, lélektani vagy pszichiátriai. Ez pedig a következő: a büntett – mint cselekvés – a szükséglet-kielégítés és konfliktusmegoldás *eszköz-cselekménye*. Ezt a léttani ismérvet véve alapul, a büntett, a bűncselekvés a társadalmi lét rendjébe szervesen, normáisan illeszkedik: a hétköznapi lét szerkezetében köznapian helyet foglaló cselekvési alternatíva. Nem kell egyénenként külön kitalálni, feltalálni: elég megtalálni. Természetesen adott cselekvési alternatíva. Az önkiszolgáló üzletben – ha nincs pénzem, vagy megkívánom – elég *elvenni* egy kézmozdulattal a csokoládét. Ez az elvétel lopás. Az elvétel módja persze lehet művészien cizellált, leplező hadművelettel fedett elvétel, de a fizetési kötelesség elmaradása – nagyképű kifogással élve – ontológiailag adott. Persze ezt a cselekvési alternatívát, amit nem kell feltalálni, hanem elég *megtalálni*, meg is lehet tanulni. Működtek és működnek zsebmeteszőiskolák, de ezek kimunkált stílusjegyei mind csak az *elvételt*, annak módját, de nem annak potenciális lehetőségét cizellálják. A bünszervezet működése ugyanúgy adott közös, kollektív együttműködési forma, mint egy cserkészraj vagy úttörő-őrs együtt cselekvése.

A bűnözés szociológiai magyarázataiban nem találjuk meg ennek a tételnek explicit kifejtését, de hallgatólagosan, kimondatlanul mindenikben ott van. Marx zseniálisan látta meg, hogy a földbérlettől megfosztott angol bérlőparaszt

kénytelenségből csavargott, hiszen földjéről, bérletétől elűzve mit tehetett volna? A közhatalmi normatív értékelés ezt a kénytelenséget – lakhely nélkül mit tehetnék, ha nem csavarognék? – büntette. Engels az ipari forradalom életmódját elemezve fogalmazta meg tételét: akivel az élet egzisztenciálisan játszik, játékszerre válva maga is játszik, hazardírozik életével. És ez a cselekvési alternatíva szervesen adott. De adott az is, hogy a létbizonytalanságot a jobb napokban kuporgatva kompenzálja, de alternatíva az is, ha a közös érdekvédelmi tevékenység szervezett mezejére lép. A kockázatos bűnözés így az adott elemi létfeltételek elleni spontán, anarchikus lázadás, amit pönalizálnak pl. géprombolásként, morálisan *erénnyé magasztalnak*, ha a védekező, biztonságot kereső kuporiságot választja, tiltanak, ha kollektív érdekérvényesítésként sztrájkba lépnek, végül az anarchikus tiltakozást levető szakszervezeti-szolidaritási fellépést legalizálják és megszeliítik. *A társadalmi létbe beépülő cselekvési alternatívaként megjelenő bűnözésre* a morálstatistikusok abban a formában csodálkoznak rá – Queteletre gondolok –, hogy a bűnözés mennyire nem egyénfüggő jelenség, hiszen a népesség korosodással történő kicserélődése mit sem változtat a bűnözés társadalmi jelenlétén. Durkheim pedig egyenesen azt jelenti ki, hogy a bűnözés *normális* jelenség, és az szorul magyarázatra, ha a bűnözési *gyakoriságban* szembevető *aránytalan*ság következik be. Ezt az aránytalanságot magyarázza aztán a társadalmi dezorganizációval, a társadalom értékrendjében tapasztalható *anomikus* állapottal. A lényeg itt is és ebben az esetben is az *eszközcselekmények szaporasága*, amit azért kell magyarázni, mert a köznapi léthez szervesen és normálisan illeszkedő normasértés a köznapi lét szerkezetében és a norma működőképességében lényeges *változás* állt be. Ez társadalomszerkezeti és társadalomlélektani magyarázat. Magyarázatként azonban ahhoz az egyéni társadalmi státushoz kötődik, ami a hétköznapi szintjén az egyén élethelyzetét, *életlehetőségeit*, ezek szűkösségét vagy bőségét jelenti. Az amerikai kriminológia mind az egyén élethelyzete, cselekvési lehetőségei és ezek társadalmi strukturális kapcsolatait elemzi, és iskolái is ehhez képest keresnek magyarázó elméleteket. Ez legegységertelműbben Ohlin felfogásából tűnik ki. Elméletének megnevezése is már erre utal: az opportunítások és ezek szerkezete. Az adott individuális *életlehetőségek egyes típusaihoz* sajátos *viselkedési kultúra és értékrend tartozik*. Ezek a szubkultúrák. Cohen az uralkodó középosztályi normákkal szemben álló, a bűnözést direkt módon igazoló ellenkultúrákról beszél. Ezek függése a nagy társadalmi strukturáktól kézenfekvő. Sellin az életlehetőségek korlátozottságának és az uralkodó értékek konfliktusának egy sajátos amerikai változatát kínálja magyarázó elméletként. Eszerint a siker, a teljesítmény az amerikai kultúrának *elfogadása*, az ezzel való azonosulás magyarázza a hátrányos helyzetű csoportok bűnözését: az ő teljesítményük az egzisztenciateremtő bűnözés. Az elmélet megalapozója vajójában Merton, a *Társadalmi struktúra és anomia* című művével. Miller az alsó rétegek kultúráját a bűnözőbandák kialakulása társadalmi közegének tekinti.

A társadalmi struktúrához illeszkedő élethelyzetek, életlehetőségek és a szükséglet-kielégítés kapcsolata korunk bűnözéseméleteinek egyik vonulata. A struktúrát adó társadalmi rendszer *értékpreferenciái normatíván is meghatározottak*.

Az ezekhez való viszony, ezek elfogadása vagy tagadása a bűnözés oldaláról *reflektált viszony*. A struktúrákötöttség tehát egyúttal *kulturális, szubkulturális kötöttséget is jelent*. Ez is azt mutatja, hogy a bűnözés maga *morálisan is megítélhető és megítélendő*, azon túl, hogy normatív, büntetőjogi tiltása és szankcionálása, vagyis társadalmi *minősítése* eleve morális minősítés is.

A kriminológia bűnözésmagyarázatai, különösen azok, amelyek a társadalmi struktúrához kapcsolódnak, rendszertani elméletek. Legalábbis annyiban, amennyiben nyíltan kimondják, hogy a társadalmi egyenlőtlenségek a kapitalista társadalmi formáció szerves részei. A társadalmi értékek normatívan kötelező szabályait és ezek tagadását hangsúlyozó elméletek ugyanezt teszik, legalábbis annyiban, amennyiben a középosztály kultúrájáról beszélnek.

Az azonos társadalmi formációt jelentő rendszerek azonban nem változatlanok. A kriminológiát különösen foglalkoztatta a változás és a bűnözés kapcsolata. Európában és nálunk is a századforduló időszakában a liberális, szabad versenyek kapitalizmus lényeges átalakulásokon ment keresztül. A 19. század állam- és jogrendszerének működése és ezek jogi-normatív kultúrája is átalakult. Az örökös, be nem avatkozó állam modelljét felváltotta a közjó érdekében interveniáló közhatalom modellje. A rendvédő, örökös, felvigyázó „csendőrállamot” felváltotta a *igazgató* közhatalom. Észelve az eddig jól működő szocializációs intézmények válságát, az igazgató állam bevezeti a kötelező oktatást, a szegénygondozás helyén megjelenik a szociálpolitika. A kor tudományosságát jellemző determinista, evolucionista, pozitivisták kultúra az alapja annak, hogy a bűnözés változásaira már nem spekulatív jog- és morálfilozófiai alapon, hanem empirikus alapon, önálló diszciplínává szerveződve a bűnügyi embertan, a kriminálszociológia és a pozitivisták kriminálpolitika reagál. A büntetett ember viselkedésének magyarázatára kitűnő eszközül szolgál a pszichoanalízis, a felettes Én, a morális Én működési zavara. A társadalom változására, a bűnözés változására immár a pozitivisták kriminológia és a pozitivisták alapú kriminálpolitika reagál, és ez ágyazódik be a bűnözésre és annak változásaira reagáló büntetőjogi rendszerekbe is. Megjelenik a pozitivisták büntetőjog.

A fordulat látványos és alapvető. A klasszikus kapitalizmus büntetőjoga, amelyet klasszikus büntetőjognak nevezünk, elveszti biztonságot adó funkcióját. Ez a büntetőjog a szabad polgár morális felelősségére épít, aki a maga világának normáit szabadon követi, szabadon választ jó és rossz között. A nyíltan felvállalt társadalmi egyenlőtlenség időszakában a polgár tetteiért erkölcsi alapon és számára racionálisan átlátható módon felel. Ahogy boldogulását is csak magától kérhette számon, úgy tettei morális következményeit is egyedül kellett vállalnia. Ez a világos felelősségi viszony a klasszikus büntetőjog intézményrendszerében egyértelműen tükröződik vissza. A bűn választása a szabad akarat aktusa, vagyis a beszámítható ember bűnös választása. A büntetőjogi büntetés a bűn erkölcsi-jogi megtorlása. A megtorlás jogi tartalma az okozott rossz malummal (rosszal) való viszonzása. A megtorlás igazságos, ha arányos a bűnnel. Az állam büntető beavatkozásának, a szankciónak korlátot a tett állít. A tett súlyával arányos büntetés tehát a beavatkozás jogi korlátja. Ezt a markáns, objektivisták, a tette, büntetettre

koncentráló klasszikus büntetőjogot váltotta fel a pozitivista büntetőjog. Ennek lényege, hogy nem tetтарыыos büntetésre van szükség, hanem a tettes személyiségállapotához igazodó kényszerintézkedésekre. Ezek lehetnek nevelő, átnevelő, korrekciós javító intézkedések, a tettes veszélyességére alapozó biztonsági-elszigetelő mellékbüntetések, amelyek valamilyen veszélyes állapotot jogfosztással semlegesítenek. A pozitivista büntetőjog láthatóan tettesjoggá transzformálódott. A tettes-büntetőjog szükségességét a kriminálpolitika a kriminológia elméleti eredményeire és tanácsaira támaszkodva igazolta. A kriminálszociológia ugyanis – mint láttuk – számba vette a bűnözés változásait, a társadalmi változások okozta intenzitásnövekedést, az üzletszerű és szokásszerű bűnözés megjelenését, a fiatalkori bűnözés növekedését, a büntetésekre irányuló kriminálszociológia kialakította a veszélyes bűnöző „ideáltípusát”, kidolgozta ennek az állapotnak a tesztelését és életútjólő prognózisait. A pozitivista kriminálpolitika nemcsak a büntéspolitikai reformját igazolta, hanem egy olyan államilag gyakorolt szociálpolitikát is szükségesnek látott, amely preventív hatású, amely képes korlátozni a bűnözés társadalmi reprodukcióját.

A kriminológia bűnözést magyarázó elméletei napjainkban is társadalmi *változás–bűnözésváltozás* kontextusában közelítik meg. A változás fogalma azonban tartalmában jelentősen módosult. Ezt jelezte a Nemzetközi Kriminológiai Társaság 1964-es kongresszusa és az ENSZ 1970-ben tartott bűnmegelőzési kongresszusa. A változás kategóriája tartalmilag a *fejlődés* fogalmának hasznosítását jelentette. Erre a magyar kriminológia igen hamar és sikeresen reagált. Ez lényegében az ipari társadalom fogalmának hasznosítását jelentette. Azok az empirikus megalapozott kutatások ugyanis, amelyeket több monográfiában publikáltak, a szocialista társadalom alapjainak lerakása „burkában”, fedőfogalma alatt ugyanazokat a gazdaság- és társadalomstatistikai mutatórendszereket hasznosították, amelyeket az ENSZ és az UNESCO Társadalomtudományi Dokumentációs Központja ajánlott. A fejlődés meghatározó elemének a gazdasági növekedést tekintették, ennek egyik hordozója nálunk az iparosítás volt. Ennek kísérőjelenségei az urbanizáció, a társadalmi mobilitás. Nálunk a foglalkozási szerkezet átalakulását nem követte a városfejlődés üteme, és így a munkahely és lakóhely diszkrepanciáját a geográfiai mobilitás intenzív, aránytalanul magas proporciója jellemezte. A társadalmi-foglalkozási szerkezetváltás és a település-szerkezet ellentmondásai rendkívül éles regionális különbségeket tettek a bűnözés területi megoszlásában is. Az életmódváltás zavarainak legjelentősebb okozója éppen a társadalmi mobilitás új magatartási kultúrájához való alkalmazkodás volt. Ehhez járult az ingázás stabil életvezetést, életmódot romboló hatása, a sajátos kétlakiság. Az ipari körzetek lakónépességének bűnözési rátáját jelentősen megnövelte a ingázó, jelenlevő népesség bűnözése. Itt könnyebb volt lopni, mert volt mit. Az elmaradottabb régiók kirajzó népességének tulajdon elleni támadásai ide koncentrálódtak, és ez elfedte a szegénység–vagyon bűncselekmények közismert korrelációját. A büntetéseket kibocsátó területeken viszont az erőszakos konfliktusbűntettek aránya ugrott meg, hiszen az elhagyott otthonba visszatérő ember más igényszinttel tér haza, személyes kapcsolatrendszere fella-

zul és konfliktusdúlttá válik. A szociológia társadalmi struktúrát kutató vizsgálatait és az életmódvizsgálatok megtermékenyítették a kriminológiai vizsgálatokat és ezek módszertanát is. A magyar kriminológia – tanulva a társadalmi földrajz kutatásaiból – képes volt kidolgozni a bűnözési földrajz országos atlaszát. Ez településtípusok és bűnözéstípusok egybeesésének kimutatását jelenti. Haszna a társadalmi kontroll intézményeinek „helyre-telepítése” lehetett volna. Az életmódvizsgálatok kriminológiai megfelelője az életútvizsgálat volt, amely ráirányította a figyelmet a bűnözés családi átörökítésének jelenségére. Ez a bűnözésen belül a visszaeső bűnözés társadalmi reprodukcióját leginkább jellemző folyamat.

A bűnözés szociológiai-szociálpszichológiai elméletei az 1970-es években rámutattak, hogy a változás-fejlődés folyamatai a bűnözés szintjét aszerint is tagolják, hogy a fejlődés az egyén szabadságállapota melletti *nyílt társadalomban* vagy a korlátozott szabadság mellett egy *zárt társadalomban* következik-e be. Az integrált és dezintegrált társadalom fogalma lehetővé tette annak megmagyarázását, hogy a nyugati társadalmak bűnözése miért magasabb a szocialista országok bűnözésénél. Ez a társadalom politikai-jogi rendszerének fontosságára mutatott rá. Napjaink szociológiája és kriminológiája a társadalom *önvédelme* céljából fogantatott *elhárító és beavatkozó mechanizmusait* a társadalmi kontroll problémájaként tárgyalja. A kriminológiai elmélet a társadalmi kontroll fogalmát a bűnözésemélet szempontjából fontos felismeréssel gazdagította. Ezt az ún. *interakcionista kriminológia* akként fogalmazta meg, hogy a bűnözés szintjét nem egyszerűen a bűnözés társadalmi termelése határozza meg, hanem az a kölcsönhatás, ami a bűnözés és a bűnözéskontroll között tapasztalható.

Ennek egyik leágazása a stigmatizációs elmélet, amely a deviáncsá vagy bűntettség minősítéssel nem egyszerűen identifikálja a társadalmi kontroll számára az egyéneket, hanem a minősítéssel magával sugallja is a devianciát, a bűnözést, míg végül is a személyiség azonosul ezzel a szereppel. Végletes megfogalmazásban ez azt jelenti, hogy a társadalom a büntetőjog eszközével maga teremti meg a bűnözőit. Csak utalok rá, hogy ezt a szemléletmódot követte az antipszichiátriai iskola is.

A társadalmikontroll-elméletek újrafogalmazták a társadalmi önvédelem koncepcióját, és mivel a társadalmi-állami beavatkozás közvetlenül érinti az egyént, az egyén szabadságát és szabadságjogait, lételméleti és kriminálpolitikai ellentéteket gerjesztettek. A nyugati jóléti állam és a szocialista paternalista állam *egybeesett a kontrolláló és gondoskodó funkciójában*. A magyar kriminológiában így ugyanazok a viták ismétlődtek meg, mint nyugaton. A gondoskodás szakértelme és intézményei egy öngerjesztő folyamatot idéztek elő, mivel egyre jobban voltak képesek az érintetteket, a potenciális érintetteket kiszűrni, és így intézményeik túlterheltek lettek. Triviális példával élve: ha egy járási rendőrkapitányságon új státust kreálnak ifjúságvédelmi szakelődónak, biztosak lehetünk abban, hogy a fiatalkori bűnözés jelentősen megugrik. Ugyanez mondható el a gyámügyben szervezett ifjúságvédelmi felügyelőről. A büntetőjogban mindez úgy csapódott le, hogy a hagyományos szankcionáló büntetési rendszer egészét javasolták felváltani és egy kezelő büntetőjoggal helyettesíteni. Az igazságszolgáltatás osztó funkciója így háttérbe szorulna, és a szakértők-

kel bővült *bizottsági eljárás* ajánlásai jelölnék meg a kezelésre kijelölt speciális intézményt vagy ambuláns eljárást. Ezt a dilemmát a büntető hatalom megosztásának buktatóival foglalkozó kitűnő tanulmányok és monográfiák tárgyalták. A vita lényege a következő: ha a kezelést (gyógyítás, pszichoterápia, reedukáció) a büntetett személyiségállapota és szükségletei alapján állapítják meg, ez a hivatalos, közhatalmi beavatkozás szükségképpen határozatlan időtartamra szól, hiszen nem jósolható meg a kezelés sikerének időpontja. Ez az egyéni szabadság diszkrecionárius, gyakorlatilag korlátlan korlátozása. Ez az emberi jogok és az állampolgári alapvető jogok megengedhetetlennek tűnő korlátozása. Feladása annak a klasszikus, évszázados büntetőjogi alapelvnek, amely a büntettest a büntettért bünteti, és ahol a büntett maga jelöli ki a büntetés korlátait, amennyiben a büntett súlyához kell igazodnia, és így határozottnak kell lennie. A kezelő büntetőjog a tettes személyiségállapotából indul ki, ez a kényszerbeavatkozás alapja. Nem azért büntetünk tehát, amit tettél, hanem azért, aki vagy. Ez a személyes szabadság és személyi autonómia indokolhatatlan korlátozása. Az igazságos, a büntettel arányos büntetés szankcióként jobban garantálja az egyén jogait és szabadságát, mint a humanista érvelésű, racionálisan, okosan indokoló rehabilitáló kezelés. A büntetőjog hagyományos értékeit elfogadó kriminológusok a szankcionáló, klasszikus büntetőjogi alapelven nyugvó igazságszolgáltatás mellett törtek lándzsát. Gondoljuk meg: ha a bűnözést devianciaként kezeljük, vagyis központi magyarázó elvét a személyiség ilyen vagy olyan zavaraival magyarázzuk, akkor fölöslegessé válna a társadalom egész morális és büntetőjogi értékrendje, hiszen nem igazítaná el a társadalmi viselkedést a jó és rossz, megengedett és tiltott között, hiszen a személyiségzavar – mint viselkedési magyarázat – felmentést adna minden felelősség alól. A morális, büntetőjogi tilalomnak ugyanis éppen az az értelme, hogy áthághatatlan. Mindenki okkal cselekszik, de az okkal cselekvés nem ment fel a felelősség alól, a tettért való helytállásra kötelezés alól. A büntetőjogi büntetés funkciója a norma, az erkölcsi és büntetőjogi tilalom abszolút érvényességének kifejezése: a büntett büntetést érdemel elvének fenntartása. Ezt az elvet alkotmányosan megerősített elveknek kell tartanunk. Ez egyúttal a bíróságok ítélezői monopóliumának kijelentése.

Ezzel együtt és ugyanakkor megfontolást érdemelnek a humán, embertudományok elméleti eredményei is. Ha a potenciális büntetett, a prekriminális állapot megállapítható és kiszűrhető, akkor érdemes és fontos a bűnözés, a bűnbeesés megelőzése érdekében minden rendelkezésre álló és professzionálisan igazolt eszköz igénybe venni. Ennek alapja azonban nem lehet közhatalmi beavatkozás, illetve ezek az eszközök nem ölthetik közhatalmi kényszerintézkedés formáját. A ma ismert minden professzionálisan kidolgozott kezelésre érvényes az a megállapítás és jogi premissza, hogy csak partneri kapcsolat, a felajánlott és ajánlott szolgáltatás önkéntes elfogadása lehet az alapja. Ez a partneri kapcsolat és önkéntesség a személyes szabadság és autonómia garanciája. Nem ez a helyzet a büntetőjogi szankciónál. Itt nincs szó partneri kapcsolatról. Miről van itt szó?

A magyar kriminológia – követve az interakcionista és kontrollelméletek hagyományát – a bűnözés és a bűnüldözés viszonyát konfliktusos, szemben álló, egymásnak feszülő, ellenérdekelt viszonynak tartja. A bűnözés titkos vagy leplezett, a

törvény kezére kerülést megakadályozni akaró, a hazugságot, csejt, kijátszást és erőszakot evidens módon alkalmazza. Együttműködésről, megadásról, önkénteségről a büntettek részéről szó sem lehet. Ez alól ritka a kivétel. *Itt szó sem lehet partneri viszonyról.* A bűnüldözés – hiába vannak közhatalmi jogosítványai – nincs abban a helyzetben, hogy a fegyverek egyenlősége alapján vehetné fel a küzdelmet a büntettekkel. A legális erőszak maga is korlátozott, hazugságot, kijátszást, félrevezetést nem alkalmazhat. A fegyverek egyenlőségéről a két fél között csak az igazságszolgáltatás fórumain lehet és van szó. A vádelv és a védelem elve, valamint eljárási jogosítványai ennek biztosítékai. A bűnözés társadalmi kontrolljának rendszerében a leggyengébb láncszem a bünfelderítés. A bünfelderítés szolgáltatja azt a „hozott anyagot”, amivel a vádhatóság és bíróság az ítélezésben dolgozik. A magyar kriminológia régi álláspontja, hogy a bűnözés nemcsak a viszonyok terméke, hanem maga is viszonyokat teremt. Ilyen viszony például a közbiztonság és közbátorság. Ha az egyensúlyi állapot felborult, mert a bünfelderítés eredményessége csökken, ez növeli a bűnelkövetési bátorságot. A kriminológia kimutatta, hogy a bünfelderítés eredményességének csökkenése nem a rendőri tehetetlenséget jelenti elsősorban, hanem a működési *kapacitás* és a felderítendő ügyek arányának függvénye. Ha ugyanis a kapacitás változatlan, mert például következetesen felderít 200 ügyet, de a felderítendő ügyek száma nő, akkor itt kapacitásnövelő intézkedésekre van szükség. Nem kívánok itt részletekbe bonyolódni, csak jelzem, hogy Európa-szerte erősödik azoknak az elméleti-taktikai és gyakorlati kísérleteknek a száma és jelentősége, amelyek a *rendvédelmi* funkciók erősítése révén kívánják a bünfelderítést eredményesebbé tenni. Ezek: a rendőri jelenlét, a rendőri intervenció azonnali hozzáférhetővé tétele, a bűnügyi információk informatikai tárolása és azonnali lehívhatósága, az ismert bűnözési gócok intenzív felügyelete, a bűnalkalmak kontrollja, az ún. szituációs beavatkozás. Igen ám, de a rendőri eredményességi kapacitás növelésének dominóhatása van. Ha az igazságszolgáltatás még és már ma is túlterhelt, a jogerős ítéletek „aktualitása” (az elkövetési időtől való távolsága) elmarad, a felderített ügyek torlódnak a bírósági ügghátralékkal. Ezért találták ki az ún. elterelő technikát, amely az apparátusok tehermentesítését szolgálja, és ennek keretében az ún. alternatív büntetéseket, amely tárgyalás mellőzésével a tettes és az áldozat jogilag szentesített kiegyezését jelenti a kár megtérítésére és lényegében a büntetés tartalékolását arra az esetre, ha az egyezés nem menne teljesedésbe. A közbiztonság – mint alapjában véve a bűnözés által teremtett viszonyrendszer – kutatásában a magyar kriminológia nemzetközi szinten is jeleskedett. Az ún. rejtve maradt (latens) bűnözés statisztikailag megbízható becslésével a bűnüldözés gyenge pontjai behatárolhatók. A biztonságérzet – a közbátorság – a bűnözéstől való félelem hatására nincs lineárisan arányos viszonyban a bűnözési arányokkal, a tényleges fenyegetettséggel. A bűnözés helyzetfelmérését az ún. tudomásra jutott büntettek számbavétele mellett jelentősen finomították a viktimizációs felmérések. Ennek rendszerbe állítása nálunk még késik. Igaz viszont, hogy kevés országban bevezetett számbavételi gyakorlat.

A nyugati országok bűnügyi leterheltsége jelentősebb hazánkénál. Bár a 100 000 főre számított bűncselekmények nálunk még jóval kevesebbek, mint pl.

Németországban vagy Franciaországban, a bűnözés növekedési tendenciája azonban rontja kilátásainkat. A tendencia megfordítására nincs reális esélyünk. Erre enged következtetni a társadalmi változás–bűnözési változás viszonyára vonatkozó kriminológiai elmélet, amely a változást *modernizációként* interpretálja. Heiland és Shelley nyomán Eisner dolgozta ki „az önkontroll kínálata és kereslete” elméletét. A modernizációnak lényegében ugyanabból a meghatározásából indul ki, mint a magyar szociológiában Andorka Rudolf. Ennek lényege a mi szempontunkból a társadalmi normák komplexebbé válása, az egyének szabadságszintjének növekedése a növekvő életesélyek mellett, a relatív depriváció jelentőségének felértékelődése, a társadalmi különbségek eredményeként fokozódó társadalmi feszültségek és a társadalmi diszharmónia. Oda zárkózunk fel a modernizáció révén, ahol a modern, de nem jól integrált országok tartanak. Ráadásul a társadalmi kontroll intézményeinek válsága egybeesik a bűnözés olyan 6-7 év alatti növekedésével, amit a nyugati államok csak két évtizedre elhúzódva tapasztalhattak.

A politika szintjén ez a válság kiváltotta nálunk a türelmetlen, hisztérikus rendpárti követeléseket. A halálbüntetéstől és a büntetések szigorításától azonban – ezt mutatja a nyugati kriminálpolitikai gyakorlat – nem lehet várni a tendencia megfordulását. A büntetés elkerülésének valószínűségét kell csökkenteni, ami az egyedüli biztos mutatója annak, hogy a közhatalom jobban ura a helyzetnek. Ezt a szórványos felderítés és szórványos krudélis büntetés nem helyettesítheti.

Azt, hogy a büntetőjogi reformok, a büntetőeljárás reformja és a bűnüldözés rendvédelmi megtámogatása az egyedül járható út, a jogi kultúra és modern jogrendszerek sajátosságai kényszerítik ki. Amióta a jogállamok alkotmányos jogállammá váltak – Európában az 1960-70-es években vált ez általánossá –, az alkotmányok alapnormaként működnek. Ennek lényege az, hogy az alkotmányok nem egyszerűen a politikai intézményeket és azok működésmódját szabályozzák, hanem a jogrendszer minden ágának tartalmi meghatározói. Mégpedig az alkotmányos alapjogok normatív előírásaival és ezek garanciáival. A garancia legfőbb eleme az alkotmánybíráskodás, amelynek hatáskörébe tartozik az alkotmányellenes normák (törvények, rendeletek) megsemmisítése. Az emberi jogok felvétele a jogrendszerbe és az alkotmányos alapjogok egész rendszere megnöveli az egyének szabadság- és autonómiaszféráját, és korlátok közé szorítja a közhatalmi beavatkozást. Ez megnehezíti a büntető-, bűnüldöző hatalom működését. Ezért tűnik úgy, hogy a társadalom szinte tehetetlen a szabadsággal visszaélő jogsértésekkel szemben. A büñfelderítés szervezeti, technikai és informatikai megerősítése az egyedül járható kriminálpolitikai út. A rendpárti szigornak és intervencionizmusnak korlátot állít a kriminálpolitika alkotmányos behatároltsága. Ha a kérdést úgy tesszük fel, hogy fel kell-e áldoznunk társadalmi szabadságunkat annak érdekében, hogy biztonságunk nagyobb legyen, a válasz erre csak nemleges lehet. Az elvesztett szabadság ugyanis pótolhatatlan. Biztonságunk azonban javítható, korrigálható: társadalmi-közösségi önszerveződéssel, technikai berendezésekkel és a közrendvédelem közhatalmi eszközeinek, intézményeinek reformjával.

FÖLDTUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

A FÖLD FEJLŐDÉSE ÉS DINAMIKÁJA

MÉSZÁROS ERNŐ

A különleges bolygó: a Föld

Bolygónk, a Föld a Naprendszerben különleges tulajdonságokkal rendelkezik. Már kinézete is alapvetően más, mint többi bolygóé. A mesterséges holdakról készített fényképek tanúsága szerint a bolygónk színe kék, szemben a Mars vöröses, illetve a Vénusz csillogó fehéres színével. A kék szín a víznek és a légkörnek köszönhető, amelyek hatékonyan visszaverik a Nap rövidhullámú sugárzását. Ezt a kék alapszínt csodálatosan megtörik a felhők fehér, illetve a bioszféra zöldes árnyalatai. A Földön a felhőket víz alkotja, míg a Vénusz felhőit az igen meleg, szén-dioxid alkotta légkörben elsősorban kénsav építi föl, amely számunkra igen barátságtalanná teszi az ottani környezeti feltételeket.

Bevezetés: miért különleges a Föld?

Ma már tudjuk, hogy a Föld különleges tulajdonságait a bioszféra létének köszönhetjük. Ugyanakkor a földi élet megjelenése bolygónknak a Naprendszerben elfoglalt helyzetével és nagyságával függ össze. Így a Naprendszerben vagy bármely más csillagrendszerben, a Naptól, illetve csillagtól van egy bizonyos távolság, az ún. *lakható zóna*, ahol a víz három halmazállapotban is előfordulhat, és a szén-dioxid nem fagy meg, hogy csak a legfontosabbakat említsük. A Föld pályája az egész év folyamán beleesik ebbe a zónába. Egyrészt a jelenlegi pályától már kis eltérés is veszélyeztetné a jelenlegi, az élet számára kedvező feltételeket, másrészt bolygónk nagysága pontosan akkora, amekkora a bioszféra fenntartásához szükséges. Elegendően nagy ugyanis, hogy légkörét megtartsa, illetve elegendően kicsi ahhoz, hogy vonzóereje ne legyen a bioszféra számára elviselhetetlenül nagy. Hangsúlyoznunk kell, hogy a Föld speciális tulajdonságain kívül, megjelenésétől fogva a bioszféra is aktív szerepet vállalt a földi környezet alakításában: a bolygó és az élővilág állandó kölcsönhatásban fejlődött.

Az óceán és a légkör

Mint már említettem, bolygónk egyik leglényegesebb tulajdonsága, hogy rajta a víz több fázisban is előfordul. Ezt mindannyian jól tudjuk. Kevésbé közismert azonban, hogy a folyékony víz többségét adó *óceánok sótartalma* valamilyen okból kifolyólag pontosan olyan, amilyennek a bioszféra szempontjából lennie kell. Közvetett bizonyítékainak vannak arról, hogy a földtörténet során az óceánok sótartalma sohasem haladta meg a kritikus 6%-ot. Ennél magasabb sótartalom esetén ugyanis az élő sejtek ozmózissal gyorsan kiszáradnának, amely elhalásukhoz vezetne. Ma már nyilvánvaló, a nagy kérdés nem az, hogy miért sós a tenger, hanem az, hogy miért nem sósabb. A jelenlegi forrásokat (pl. folyók sószállítása) figyelembe véve, kiszámítható, hogy kb. 80 ezer év alatt kialakulna a tengerek sótartalma. A probléma az, hogy igazából nem ismerjük azokat a folyamatokat, amelyek a sót az óceánokból kivonják, azaz szabályozzák az óceáni ökoszisztémák számára megfelelő értéket.

A Föld következő nagyon fontos jellemzője, hogy légköre *szabad*, azaz más elemekhez nem kötött *oxigént* tartalmaz. Az oxigén ugyanis legfontosabb energiaforrása a bioszféra egy részének, nevezetesen az állatvilágnak és az embernek. Légkörünk másik lényeges ismérve az *üvegházhatás*, azaz az a tulajdonsága, hogy a bolygó által kisugárzott hőt csak kis részben engedi ki a bolygóközi térbe. Az üvegházhatás a Föld története során mindig pontosan akkora volt, hogy a hőmérséklet az élet számára kellemes legyen. Így az üvegházhatású gázok, elsősorban a szén-dioxid koncentrációja a geológiai korok során olyan mértékben csökkent, hogy kiegyenlítse a Nap növekvő sugárzási energiáját. Ez a nagyszerű „együttműködés” biztosította, hogy kisebb ingadozásoktól eltekintve éghajlatunk lényegében állandó, az élőlények számára kellemes volt.

A Föld légkörének összetétele és nyomása nagymértékben különbözik a szomszéd bolygók légkörének összetételétől, illetve nyomásától, amely egyebek mellett az éghajlati különbségeket is megmagyarázza. Bolygónkon a légkör összetételét a nitrogén és oxigén határozza meg, míg úrbeli szomszédaink légköre elsősorban szén-dioxid-molekulákból tevődik össze. A Földhöz képest a Vénuszon a nyomás igen nagy, míg a Marson meglehetősen kicsi. A Föld speciális légköre az élet terméke. Ha megbecsülnénk, hogy bioszféra nélkül milyen légköre lenne a Földnek, akkor a jelenlegi levegőtől nagyon eltérő gázkeveréket kapnánk, amely valahol a Vénusz és a Mars légköre között lenne. A földi légkör szabályozásában két alapvető folyamat játszik szerepet: egyrészt a fotoszintézis, másrészt az üledékképződés. A szabad oxigén a fotoszintézis terméke, míg az üledékképződés a szén (szén-dioxidot) a levegőből karbonátok formájában az üledékes kőzetekbe juttatja. Ezzel szemben a szén a Vénuszon a légkörben mint szén-dioxid van jelen.

A földfelszín különleges jellemzője: a talaj

Az űrkutatás eredményei világosan mutatják, hogy a Mars és a Hold felszínének kémiai összetétele átlagosan nagyon hasonlít a szilárd Föld legfelsőbb öve, a litoszféra összetételéhez. A nagy különbség az, hogy a Földön létezik egy réteg, amelyet *talajnak* nevezünk. A talaj a bioszféra és a litoszféra kölcsönhatásának eredménye. A légköri viszonyok függvényében a mikroorganizmusok elmálasztják a kőzeteket. Ily módon két alrendszerből álló együttes jön létre. Ezek egyike az élő szervezetekből álló biológiai, míg a másik a szerves és szervetlen vegyületeket tartalmazó élettelen alrendszer. A talaj anyagát jelentős mértékben *humusz* építi föl, amely a termékenység meghatározója. A humusz növényi maradványok és mikroszervezetek által szintetizált nagy molekulájú szerves vegyületek kolloid elegye. Ioncsere-kapacitása nagy, így ioncsere útján megköti a növények számára felvehető tápanyagokat. A talaj – mint minden biológiai rendszer – anyag- és energiaforgalmát ún. negatív visszacsatolások útján szabályozni tudja, mintegy kibernetikai rendszerként viselkedik. Az önszabályozás azt jelenti, hogy minden olyan tényezőt közömbösíteni igyekszik, amely zavarja optimális viselkedését.

A talaj tehát a Naprendszerben a Föld bolygó egyedülálló tulajdonsága. Ilyen értelemben tehát pl. a Marsnak, illetve a Vénusznak nincs talaja, csak felszíne van.

Lemeztektonikai mozgások és biológiai evolúció

A Föld egyik legfontosabb jellemzője, hogy hatalmas dinamikai rendszer, amelynek megnyilvánulásait vulkánkitörések és földrengések formájában észleljük. A *lemeztektonikai mozgások* felfedezése a 20. századi tudományos kutatások egyik legnagyobb eredménye volt. Századunkban, sok más tudományág közismertebb forradalma mellett, a földtudományok is forradalmi fejlődésen mentek át.

James Lovelock neves angol gondolkodó, a híres Gaia-hipotézis megalkotója úgy gondolja, hogy a lemeztektonika kiváltásában biológiai folyamatok is szerepet játszanak. Ez a feltevés természetesen még megerősítésre vár. Az viszont tény, hogy a többi bolygón lemeztektonikai mozgásokra utaló nyomokat még nem azonosítottak. Az is nagyon valószínűnek látszik, hogy a lemeztektonika az élővilág fejlődését és a biológiai sokféleséget is jelentősen befolyásolta. Így például a dinoszauruszoknak sokkal hosszabb idő alatt kevesebb fajuk alakult ki, mint jóval rövidebb idő folyamán az emlősöknek. Ez alátámasztja azt az elképzelést, hogy az emlősök sokféleségét a szárazföldek szétválása segítette elő, amely a dinoszauruszok kora óta a lemeztektonikai mozgások miatt a Földön végbement.

Sőt az sem zárható ki, hogy az ember kialakulása lemeztektonikai mozgásokkal kapcsolható össze. Dinamikus mozgások ugyanis Afrika keleti részét leszakítani igyekeznek az afrikai lemezről. Ennek következtében kb. 10 millió évvel ezelőtt kialakult a nagy Kelet-afrikai-árok. A törésvonal megjelenése az éghajlatot

oly módon változtatta meg, hogy Kelet-Afrikában eltűntek az erdők, és a terület egyre inkább szavannás, ligetes vidékké vált. Mindez oda vezetett, hogy elődeink kénytelenek voltak a felszíni életmódhoz igazodni, amelynek a két lábra állás előfeltétele volt. Tekintve, hogy mindez az afrikai törésvonaltól keletre ment végbe, *Coppens* francia antropológus az ember keletkezésének történetét találóan *east-side story*-nak nevezte el.

Nagyon valószínű tehát, hogy lemeztektonika nélkül nem ülnénk itt ezen konferencián, hogy a Föld fejlődésének és dinamikájának kérdéseit megtárgyaljuk.

Külső hatások

A Föld különleges tulajdonságait, jelenlegi tudásunk szerint, külső hatások is alakították. A külső hatások sok esetben véletlenszerű, katasztrofális eseményeknek voltak köszönhetők. Így felvetődik a kérdés, vajon bolygónk fejlődése mennyire a véletlen műve. Ezzel kapcsolatban nemcsak arra gondolok, hogy valamikor 65 milliárd éve, a harmadkor hajnalán, valószínűleg egy hatalmas meteorit becsapódása következtében *kihaltak a dinoszauruszok*, mintegy átengedve az életteret az emlősöknek. Az sem kizárható, hogy a *Hold keletkezése* hasonló, sőt még katasztrofálisabb eseményhez kapcsolódik. Feltételezések szerint valamikor a Föld történetének hajnalán hatalmas, Mars-méretű égitest csapódott a Földbe, és az ütközés következtében szakad le a Hold anyaga. Ez a katasztrófa igen nagy mértékben meghatározta a Föld különleges tulajdonságait. Holdunk tömege ugyanis meglehetősen nagy a bolygó tömegéhez képest. Ebből következik, hogy forgatónyomatéka a Földre jelentős hatást gyakorol.

Tudjuk, hogy az évszakokat a Föld forgástengelyének dőlése határozza meg. *Laskar* és francia munkatársai a *Nature* című folyóirat 1993-as kötetében ezzel kapcsolatban igen érdekes tanulmány tettek közzé. Numerikus modellszámításaik szerint a Naprendszer története során a belső bolygók tengelydőlése kaotikusan ingadozott. A kivételt a Föld képezi, amelynek tengelydőlése alig változott. A vizsgálatok szerint ez az állandóság, amely éghajlatunk alakításában meghatározó volt, űrbeli útítársunknak, a Holdnak köszönhető. Az említett szerzők a modellszámításokat a következő 1 millió évre is elvégezték. Azzal a feltételezéssel éltek azonban, hogy jelen pillanatban megszűnik a Holdnak a Föld forgatónyomatékára gyakorolt hatása. Azt az eredményt kapták, hogy ebben a feltételezett esetben olyan jelentős éghajlati ingadozások lépnének föl, amelyek a földi életet teljesen lehetetlenné tennék.

Ez természetesen nem zárja ki azt a tényt, hogy a Föld tengelyének dőlése a múltban kisebb változásokon ment keresztül. Bolygónk egyéb pályaelemeinek változásaival együtt ezek a változások váltották ki az utóbbi kb. 2 millió évben szabályosan jelentkező jégkorszakokat. A jégkorszakok a bioszférát természetesen módosították, de igazából sohasem veszélyeztették.

Kitekintés

Talán ez a rövid összefoglaló is érzékelteti, hogy a *Föld* tulajdonságai igen különlegesek, pontosan olyanok, mint amelyek az élet keletkezéséhez és fenntartásához szükségesek. Természetesen ezeknek a speciális jellemzőknek a kialakulásához, létrejöttük után, maguk az élőlények is alapvetően hozzájárultak. A kérdéskör további, igen messzire vezető, filozófiai mélységű érdekessége, hogy nem csak a Naprendszer és azon belül egyik bolygója, a Föld rendelkezik az élet létrehozásához szükséges különleges tulajdonságokkal. A mintegy 15 milliárd éve nagy robbanással keletkezett *Univerzum* ugyanis pontosan akkora sebességgel tágul, amely a csillagok keletkezését lehetővé teszi. A tágulási sebesség éppen „megfelelő”: nem olyan lassú, hogy összeomolják az általunk ismert világ. Ugyanakkor nem is annyira gyors, hogy megakadályozza a csillaghalmazok, illetve csillagok születését. Így keletkezhetett a Tejútnak nevezett galaxisban a Naprendszer, ezen belül különleges bolygónk, a Föld, és rajta a bioszféra, amelynek mi is tagjai vagyunk. *Albert Einsteinnel* együtt azt a következtetést vonhatjuk le, hogy Istennek nem nagy választása lehetett, amikor a világot teremtette.

MESKÓ ATTILA

Áramlások a köpenyben és a magban: néhány következmény

Összefoglaló

A Föld belsejének áramlásait közvetlenül nem észleljük, azokra csak a felszínen megfigyelt jelenségekből tudunk következtetni. Ennek ellenére teljesen biztos, hogy mind a köpeny belső részében, mind a külső földmagban kiterjedt áramlások működnek. A lemezek mozgása nem érthető meg a köpeny áramlásai nélkül, a földi mágneses térnek pedig egyetlen lehetséges magyarázatát a mag áramlása adja. Bár a 20. század kutatásai az alapvonásokat tisztázták, számos részlet magyarázata a jövő kutatóira maradt. A dolgozat áttekinti a tényeket, melyek az áramlások jelenleg elfogadott elméletéhez vezettek, és vázolja a még megoldandó kérdéseket.

A kontinensvándorlástól a lemeztektonikáig

A Föld – eltekintve olyan kivételes eseteknek tekintett katasztrófáktól, mint a földrengések, vulkánkitörések, földcsuszamlások vagy nagy áradások – rendkívül stabilnak tűnik. Ez azonban leginkább csak azt mutatja, milyen rövid az emberi élet. A folyamatok olyan lassúak, hogy a rendelkezésükre álló időben közvetlenül nem érzékelhetők. Egyszerű megfigyelésekből is következtethetünk a szüntelen változásra. Megbecsülhető például, hogy a folyók mennyi üledéket szállítanak. A teljes Földre nézve több mint 20 milliárd tonna ez a mennyiség. Ha a szárazföld vesztesége egyenletes volna, egy emberöltő alatt az összes kontinens 1 mm-rel tenné alacsonyabbá. Az erózió természetesen nem egyenletes, meredek lejtőjű, csapadékos hegyekben sokkal nagyobb, mint száraz síkságokon. Könnyű megbecsülni azt is, hogy 30-40 millió év alatt a lepusztulás a legmagasabb hegyet is eltünteti. Ugyanakkor pontos geodéziai mérésekből azt is tudjuk, hogy bizonyos területek emelkednek. Skandinávia vagy a Kanadai-pajzs egyes részein évente 10-20 mm is lehet az emelkedés. A Föld, a földfelszín korántsem állandó: hegyláncok születnek és tűnnek el, óceáni medencék nyílnak meg és záródnak be, kontinensek vándorolnak.

A kontinensvándorlás elméletét – mint ismeretes – először Alfred Wegener dolgozta ki részletesen. Számos érvet sorakoztatott fel a kontinensek mozgására Afrika és Dél-Amerika partvonalainak hasonlóságától kezdve egészen addig, hogy csak adott klimatikus körülmények között képződő nyersanyagtelepeket (szén, bauxit) jelenleg teljesen más klímájú területen találták meg: például szenet az Antarktiszon, vagy gleccserek nyomait fedezték fel a trópusokon. Wegener ezeket a megfigyeléseket csak azzal tudta magyarázni, hogy a kontinensek valamikor máshol – többek között más szélességeken – helyezkedtek el, azaz vándoroltak. Az elméletet elvetették, mert nem tudták elképzelni, honnan származik az energia, ami a kontinensek mozgásához szükséges. Az 1950-es években a paleomágneses mérések – melyek alapján a kőzetminta keletkezési idejében az akkori földrajzi szélesség számítható –, őslénytani és kőzettani összehasonlítások, a földrengések eloszlása a Föld felszínén és a mélység szerint végül döntően az óceánok középvonalában a hatalmas hátságok felfedezése és azt itt megismert földtani folyamatok egyértelművé tették, hogy Wegenernek lényegében igaza volt. Az 1960-as évek végén, az 1970-es évek elején kialakult és általánosan elfogadottá vált a globális tektonika vagy lemeztektonika elmélete. Nem a kontinensek vándorolnak, hanem lemezek, melyek hordozhatnak kontinenseket is.

A lemeztektonika alapvető állítása, hogy a Föld teljes felszíne merev kőzetlemezek mozaikja. A lemez név azért találó, mert vastagságuk száz-kétszáz kilométer, míg horizontális méretük több ezer kilométer. Az óceáni hátságok mentén, a központi hasadékvölgyben magma áramlik fel, és építi a lemezszegélyeket, miközben a hasadék két oldalán elhelyezkedő lemezek lassan távolodnak egymástól. A Föld felszíne azonban nem növekedhet, emiatt más lemezszegélyeknél más, a lemezt bizonyos értelemben „megsemmisítő” folyamatoknak kell lejátszódnuk. Ez a szubdukció, melynek során a köpenybe egyre mélyebben behatoló lemez végül beolvad a köpeny anyagába. Eközben számos érdekes folyamat zajlik (földrengések, vulkánosság, hegységképződés stb.), de ennek részleteivel nem kívánok foglalkozni, mert egy külön dolgozat (Bárdossy György) teljes egészében a lemeztektonikát tárgyalja. Csak azt hangsúlyozom, hogy a lemeztektonika nemcsak a litoszférát alakítja, nemcsak a lánchegységeket emeli fel, de számos nyersanyag, például szénhidrogén (olaj és gáz) képződésében és felhalmozódásában és valószínűleg a földi élet fejlődésében is döntő szerepet játszott.

A lemezek nem „maguktól” mozognak, azokat a köpeny konvekciós anyagáramlásai mozgatják. A folyamathoz szükséges energiát a radioaktív bomlásból származó hőtermelés biztosítja. A köpenyben zajló áramlásoknak két lehetséges változata van. Egyik lehetőség a teljes köpenyre kiterjedő áramlás, a másik két különálló: egy csak a felső köpenyben és egy csak mélyebben zajló áramlás. Úgy tűnik, hogy a második modell valószínűbb, tehát van egy felső különálló, felszín közeli áramlási rendszer, és van egy másik, mélyebb rendszer is. Több megfigyelés azonban arra utal, hogy közöttük időnként kapcsolat is lehet. Jelenleg modellszámításokkal követik a folyamatokat, kísérlik meg a döntést különböző változatok között.

A földi mágneses tér eredete

Mindenki tudja, hogy az iránytű az északi irányt mutatja. Elég sokan tudják azt is, hogy a mutatott irány csak közelítő: a pontos északi irány és a tű iránya között kis különbség van. A különbség a mágneses deklináció, melynek értéke időben (lassan) változik. Ugyancsak változik a mágneses inklináció, a térerősség vektorának a vízszintessel bezárt szöge, melyet a vízszintes tengely körül elfordulni képes mágnesű iránya jelöl ki. Csak a földtani kutatással foglalkozók tudják, hogy nemcsak a két jellemző szög (az északi iránnyal bezárt deklináció és a vízszintes-szel bezárt inklináció) változik, hanem a térerősség vektorának nagysága is, még-hozzá olyan gyorsan, hogy az országos mágneses térképeket néhány évenként újra kell szerkeszteni. Kevéssé ismert az a tény, hogy a polaritás időnként megfordul: az északi mágneses pólusból déli mágneses pólus lesz. Csak nagyon kevesen tudják, hogy a mágneses tér a földmag önfenntartó dinamóként működő anyag-áramlásainak köszönheti létét, és a földrajzi és mágneses északi irányok közötti eltérés lényeges feltétele a dinamó működésének.

A földi mágneses tér okával, szerkezetével, változásaival kapcsolatban számos olyan kérdés is feltehető, amelyre még senki sem tudja a választ.

A legfontosabb kérdéseket *Roberts* (1992) a következő módon fogalmazta meg:

1. Miért van a Földnek mágneses tere?
2. Miért maradt fenn a mágneses tér a geológiai korok, több milliárd év során?
3. Miért döntően dipólus jellegű a tér?
4. Miért maradt a térerősség közelítőleg állandó?
5. Mi határozza meg a térerősség értékét?
6. Miért esik egymás közelébe a geográfiai és a mágneses északi irány?
7. Hosszú időtartamú (geológiai korokat átfogó) átlagaik miért azonosak?
8. Mi okozza a rendezetlen polaritásváltásokat?
9. Hogyan magyarázható meg a mágneses tér viselkedése egy térfordulás alatt?
10. Miért változik a térfordulások gyakorisága a geológiai múltban?
11. Hogyan magyarázhatók azok az ellentétes polaritású időszakok, melyek mind a döntően normál, mind a fordított polaritású időszakban rövid időre megjelenhetnek?
12. Mi okozza a mágneses tér globális, 200–2000 év időskálájú, lassú változásait?
13. Mi a jelentősége a lassú nyugati irányú eltolódásnak?
14. Mi okozza a gyorsabb, 20–200 év időskálájú, szekuláris változásokat?
15. Mi magyarázza a szekuláris változásokban időnként megjelenő – nagyjából egy év alatt lecsengő – „impulzusokat”?
16. Mi az az általános kép, melybe a Föld és más égitestek mágneses tere egyaránt beleillik?

Az első és harmadik kérdésre (saját korában, 1600 körül) elfogadható választ adott William Gilbert, amikor azt írta, hogy a Föld egy nagy mágnes, mely valószínűleg állandóan mágnesezett állapotú. A mágnesezhető anyagok vizsgálata azonban két évszázaddal később tisztázta, hogy minden anyag elveszti állandó mágnesezettségét, ha hőmérséklete elég magas. Ez az úgynevezett Curie-pont, mely függ az anyag minőségétől, általában néhány száz fok. A Föld belsejében a hőmérséklet a mélységgel nő, a felszín közelében átlagosan kilométerenként mintegy 30 °C-kal. Ebből következik, hogy 30 kilométer alatti mélységben a kőzetek a legmagasabb Curie-pont és a leglassúbb hőmérséklet-emelkedés esetén sem lehetnek már állandó mágnesezettségűek. Azaz permanens mágnes legfeljebb a Föld kérge lehet. De a Föld teljes dipólmomentumának biztosításához a kéreg mágnesezettsége még akkor sem elegendő, ha feltesszük, hogy teljes egészében telítettségig mágnesezett magnetitből áll. A több nagyságrend eltérés miatt el kell vetni azt a felvetést, hogy a földi mágneses teret a kéreg permanens mágnesezettsége okozhatja.

Földmágneses teret létrehozó elképzelt dipólus tengelye majdnem pontosan a forgástengellyel egyezik meg. Emiatt elvileg csaknem teljesen szimmetrikus erővonalakra számíthatunk. Valóban ilyen volna a Föld mágneses tere, ha nem volna napszél, a Napból induló töltött részecskék árama, és ezért ez a naiv kép csak a Föld közvetlen környezetében érvényes. Űreszközökkel végzett mérések tisztázták, hogy a Földtől nagyobb távolságban már megváltozik az erővonalak szerkezete. A magnetoszféra jellegzetesen aszimmetrikus, teljesen más a Naphoz közeli oldal, és más az ellentétes oldal, uszálya több száz földugárnyi távolságig is elnyúlt.

Az inklináció menete is alátámasztja, hogy tényleg olyan a Föld, mint egy nagy mágnes, hiszen az inklináció nulla a mágneses Egyenlítőn, és 90° közeli a sarkok környezetében. Az azonos inklinációjú vonalak szinte párhuzamosak a szélességi körökkel.

A mágneses tér időben nagyon sokféle módon változik. Archeomágneses vizsgálatok képet adtak az utóbbi néhány ezer évről. Még meglepőbb változások jelennek meg egy hosszabb időtartamban. Normál, a jelenlegivel azonos értelmű és inverz pólushelyzetek váltogatták egymást. Az inverz helyzetben a pólusok ellentétes értelműek voltak: a déli pólus a jelenlegi északi, míg az északi a jelenlegi déli pólus környezetében helyezkedett el. A póluscsere lehetősége eléggé megdöbbenítő, a kutatókat is nagyon meglepte, amikor először találkoztak fordított mágnesezettségű rétegekkel. Az 1960-as évek közepén különféle magyarázatokkal és elméletekkel próbálkoztak, és még az évtized vége felé is hatalmas vita folyt arról, egyáltalán lehetséges-e az, hogy a Föld mágneses tere ellentétes értelművé válhassék. Ma már tudjuk, hogy ez lehetséges, és nem is tudunk elképzelni más mechanizmust, mint egy az áramlással kapcsolatos eredetet, mert más mechanizmus nem lenne lehetővé ilyen sok és viszonylag gyors pólusváltást a földtani korok során.

Természetesen amikor a 1600-as években kialakult az a fölismerés, hogy a Föld mágneses, nem foglalkoztak a jelenség okával, magyarázatával. Több évszázá-

don át megelégedtek azzal, hogy a teljes Föld valamiképpen mágnesezve van. A földmágnesség eredetét 1600-ban, de 1700-ban vagy 1900-ban sem lehetett megérteni, mert elektrodinamikusan hatásokról van szó, és hogy ezek szerepét egyáltalán felvethessük, ahhoz kellett *Galvani*, *Volta*, *Kirchoff*, *Faraday*, *Maxwell* munkássága, a teljes elektrodinamika kialakulása. De szükséges volt hozzá a magneto-hidrodinamika elméletének kifejlődése századunk derekán, *Chandrasekhar* és mások munkásságával, szükséges volt *Elsasser*, majd *Bullard* zsenialitása, akik először gondoltak arra, hogy a Föld külső, folyékony állapotú magja önfenntartó dinamikaként is működhet.

A mérési feladatok és az elmélet összhangját jelenleg nagy teljesítményű számítógépekkel végzett modellezésekkel próbálják megteremteni. A konvekció, a termodinamika és a magneto-hidrodinamika egyenleteit közelítő módszerekkel meg lehet oldani. Vannak elfogadható modellek, amiket a leggyorsabb számítógépekkel végig lehet számolni. Gondot jelentenek a határfeltételek, a geometria bonyolultsága, bizonyos paraméterek – például a viszkozitás, a hőtermelés kezdeti értékének eloszlása stb. Azt is tudnunk kell, hogy a jelenlegi modellek egy-egy pillanatot írnak le, tehát még sokat kell fejlődnie a számítástechnikának, amíg a feladatot teljes terjedelmében meg lehet oldani. Reális, az időbeli változásokat is jól leíró modelleket a következő évezredben várhatunk. Ez adalék lehet a természettudományos kutatás létjogosultságához is. Minél jobban előrehaladunk, annál több a megoldandó kérdés. Mi okozza a rendezetlen polaritásváltozásokat? Hogyan magyarázhatók meg a mágneses tér különböző időskálájú szekuláris változásai? Ezek és Roberts idézett felsorolásának számos további kérdése is olyanok, amelyekre még válaszolnunk kell.

Következmények

Bár részben érintettük a Föld belsejében folyó anyagáramlás következményeit, talán nem fölösleges újból összefoglalni, hogy a köpeny áramlásai működtetik a lemeztektonikát, és ez az átfogó, a Föld születése óta működő folyamat döntő mértékben hat a felszín alakulására (hegységképződés, óceáni hátságok és árkok), „felelős” a törésekért, a vulkanizmusért és a földrengésekért, mozgatja a kontinenseket és óceánokat, ezzel változtatja az élőhelyek és az üledékképződés fő színtereit, döntően befolyásolva a nyersanyagok felhalmozódását és az életformák alakulását, az evolúciót.

A külső mag áramlásai hozzájárulnak a Föld mágneses teréhez. A mágneses tér nemcsak az élőlények (és az ember) tájékozódásának egy lehetséges eszköze, hanem a kőzetek indukált mágnesezettsége is fontos a földtani kutatásban, az archeomágneses és paleomágneses kutatás pedig az emberiség (rövid) vagy a Föld változásai (hosszabb) történetének megértésében. A mágneses tér és a napszél kölcsönhatására kialakuló és változó magnetoszféra pedig nemcsak a töltött részecskék áramától véd, hanem valószínűleg befolyásol meteorológiai és élettani folyamatokat is.

Biztosan állíthatjuk tehát: a Föld mélyének áramlásai döntő mértékben hatnak életünkre. Mivel a hatások közvetettek, áttételesek, nem is tűnnek fontosnak. Sajnálatos, hogy ez a földtudományokra általában is érvényes. Annak bizonyítására, hogy nem magyar jelenségről van szó, idézem az *Encyclopaedia Britannica* 1997-es kiadásából a következő gondolatot: „...although the need for interdisciplinary science for environmental management is recognized, the central role of earth sciences in both resource acquisition and environmental problems was not appreciated by policy makers and the public in general.” (Earth Sciences fejezet, 183. p.), azaz annak ellenére, hogy felismerték az interdiszciplináris tudományos megközelítés központi szerepét a környezet kezelésében, a földtudományok jelentőségét az erőforrások feltárásában és a környezeti problémák megoldásában, sem a döntéshozók, sem a nagyközösség nem értékeli megfelelően. A megoldás – ugyanezen fejezet szerint az lehet, ha – ismét idézem: „...educate the public and policy makers about the reciprocal relationship between earth science and society and the ways in which the world’s aggressive agricultural and industrial activities are changing the biosphere and the geologic cycle.” További erőfeszítéseket kell tehát tennünk a Föld és a társadalom közötti kapcsolatok tudatosítása érdekében, újból és újból rámutatva arra, hogy az intenzív mezőgazdasági és ipari tevékenység hogyan változtatja meg a bioszférát és a geológiai ciklusokat.

Irodalom

- Chandrasekhar, S.: *Hydrodynamics and hydrodynamic stability*. Clarendon, 1961.
Cserepes L. és Petrovay K.: *Kozmikus fizika*. Egyetemi jegyzet, 1993.
Márton P.: *Földmágnesség*. Egyetemi jegyzet, 1992.
Roberts, P. H.: Geomagnetism, Origin. In: *Encyclopedia of Earth System Science*, 2. Academic Press, 1992. 295–310.

Hegységképződés és lemeztektonika

A hagyományos hegységképződési elméletek kialakulása

Földünk látványosan óceánokra és tengerekre, valamint szárazföldekre, az utóbbin belül hegységekre és síkságokra oszlik. E jelenség okát az emberiség sokáig természetfeletti erőkkel magyarázta. Az első, mai értelemben vett természettudományos hegységképződési elméletet Elie de Beaumont (1798–1874) francia geológus fogalmazta meg 1852-ben megjelent könyvében. Véleménye szerint a Föld lassan, de folyamatosan hűl, és ennek következtében összezsugorodik. A földkéreg gyengébb zónái mentén a zsugorodó kéreg felgyűrődött, és hegység-láncok jöttek létre. Beaumont szerint a hegységláncok lefutása mértani szabályszerűségeket követ. Ez a híres *összezsugorodási (kontrakciós) elmélet* hosszú ideig általánosan elfogadott volt. Csak a természetes radioaktivitás felfedezése és az ezzel járó hatalmas hőtermelés felismerése vezetett az elmélet elvetéséhez.

A hegységképződés folyamatának helyszíni megfigyelésekre alapuló vizsgálatával döntő előrelépést tett James Hall (1811–1898) amerikai geológus. Hosszú éveken át a helyszínen tanulmányozta az amerikai Appalach hegységet, és rájött arra, hogy a hegylánc területén jóval vastagabb üledékösszlet rakódott le, mint a szomszédos gyűretlen területeken. Ebből azt a következtetést vont le, hogy a hegység kialakulását jelentős süllyedés előzte meg, és ezt az üledékgyűjtő vályút *geoszinklinálisnak* nevezte el. A süllyedést követően emelkedett ki a hegylánc oldalnyomás hatására. Szerinte más hegységláncok is ezen a módon jöttek létre (1859). Ez lett a későbbi *geoszinklinális-elmélet* magja. Hall elméletét az ugyancsak amerikai James D. Dana (1813–1895) fejlesztette tovább. A hegységképződés fő mozgatóerejének ő is a Föld kihüléses összezsugorodását tartotta (1864).

Európában a svájci Albert Heim (1849–1937) fáradhatatlan terepi megfigyelésekkel járult hozzá az Alpok hegységszerkezetének megismeréséhez. 1878-ban megjelent munkájában részletesen ismertette a földtani képződményeknek a hegységképződés során bekövetkezett alakváltozásait, az ún. diszlokációkat. Marcel Bertrand (1847–1907) francia geológus ugyancsak helyszíni megfigyelések alapján elsőnek vetette fel az oldalirányú elmozdulások szerepét a hegységkép-

ződésben. 1884-ben megjelent munkájában kimutatta a fiatalabb rétegekre rátolódott tektonikus *takarók* létezését az Alpokban. Ezeknek a több tíz kilométert elérő, oldalirányú elmozdulásoknak a felismerése vezetett el évtizedekkel később a kontinensvándorlás elméletének kidolgozásához.

A hegységképződési kutatások másik kiemelkedő alakja a bécsi Eduard Suess (1831–1914) volt, aki összefoglaló munkáiban (1875, 1909) egyre nagyobb jelentőséget tulajdonított az oldalirányú elmozdulásoknak. Ő volt az, aki elsőként tételte fel egy nagy őskontinens – a *Gondwana* – létezését a földtörténeti múltban, továbbá egy azóta eltűnt ósóceánt, amit *Tethys*nek nevezett el (1893). Véleménye szerint ez az őskontinens később több darabra szakadt azáltal, hogy egyes darabjai a mélybe süllyedtek. Közben azonban a kontinensek egy helyben maradtak (fixista elmélet). Néhány évtizeddel később a geofizikai mérések alapján kidolgozott *izosztázia-elmélet* alapján nyilvánvalóvá vált, hogy kontinentális kéregdarabok ilyen lesüllyedése fizikailag lehetetlen.

A hegységképződési ismeretek felszaporodásával lehetőség nyílt a világméretű összehasonlításokra és a szintézisre. Igen sok geológus foglalkozott ezekkel a kérdésekkel. Közülük Hans Stille (1876–1966) német geológust kell kiemelni, aki felismerte hogy a hegységek viszonylag rövid, de igen mozgalmas időszakokban jöttek létre, melyeket hosszabb, nyugodtabb időszakok választottak el egymástól. Az előbbieket *orogén fázisoknak*, az utóbbiakat *epirogén fázisoknak* nevezte el. Emellett kimondta az óceánok állandóságának tételét, más szóval a fixista elmélet mellett foglalt állást. A nagy kontinenseket szerinte azóta elsüllyedt keskeny szárazföldhidak kötötték össze egymással, amelyek azóta elsüllyedtek. A fauna- és flóravándorlások magyarázatához ez ugyanis nélkülözhetetlen volt. A kontinensek szerinte az újabb hegységgláncok kialakulásával egyre növekedtek. Így alakult ki az ősi Balti-ország pajzs körül a Paleo-, Mezo- és Neo-európai hegység-



1. ábra. Európa hegység szerkezeti vázlata H. Stille (1935) szerint

rendszer (1. ábra). Hegységképződési elképzeléseit 1935-ben megjelent könyvében foglalta össze.

Az elkövetkező évtizedek során a hegységek ismerete egyre bővült, és egyre újabb adatok láttak napvilágot. A hagyományos – fixista – hegységképződési szemlélet utolsó nagy szintézisét Henri és Geneviève Termier készítette el 1961-ben.

A lemeztektonika elméletének kialakulása

A földtudomány 20. századi fejlődésében forradalmi változást hozott Alfred Wegener (1880–1930) német meteorológus munkássága. Felismerte, hogy Észak-Amerika, Dél-Amerika, Grönland, Európa és Afrika jól illeszkedő, egyetlen nagy kontinensé tolható össze. Ezt az őskontinenset *Pangeának* nevezte el. Feltevésének bizonyítására igen sok közzetani, tektonikai és őslénytani bizonyítékot gyűjtött össze. Szerinte az őskontinens a triász időszak végén feldarabolódott, és a mai kontinensek fokozatosan eltávolodtak egymástól. Úgy gondolta, hogy a kontinensek jéghegyek gyanánt úsznak a sűrűbb köpenyen (1915). A kontinensvándorlásnak ez az elmélete gyökeres szakítást jelentett az összes eddigi – fixista – elmélettel. Wegenernek sajnos nem sikerült a kontinenseket mozgó meghajtóerőre megfelelő magyarázatot találnia. Geofizikai számítások egyértelműen azt mutatták, hogy sem az általa feltételezett „pólus-menekvés”, sem az ún. Coriolis-erő (a Föld forgása következtében fellépő relatív elfordulás a mozgás eredeti irányától) nem elégséges a kontinensek hatalmas tömegének mozgatására.

Wegener forradalmian új elképzelései világszerte nagy felűnést keltettek, de szinte mindenütt rideg elutasításra találtak, különösen az amerikai és angol geológusok, valamint geofizikusok körében. Az American Association of Petroleum Geologists által 1928-ban szervezett nemzetközi szimpóziumon egyenesen bántó és megalázó módon foglaltak állást Wegener elméletével szemben. Egyik leghevesebb ellenfele Sir Harold Jeffreys (1891–1989) angol geofizikus volt, aki elsősorban a meghajtóerő elégtelensége miatt vetette el az elméletet.

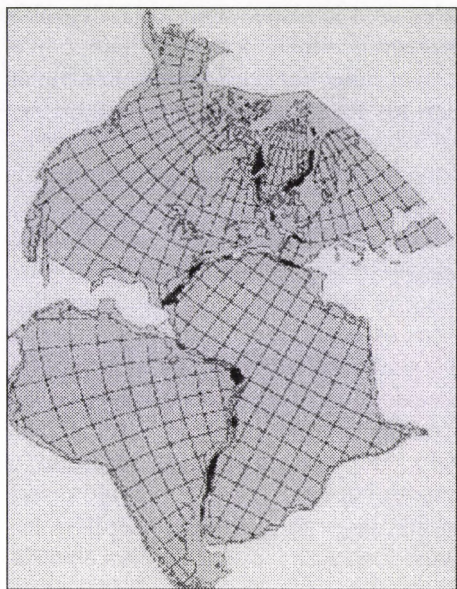
Az általános elutasítás ellenére néhány kiváló geológus felismerte Wegener elméletének jelentőségét. Ilyen volt Alexander Du Toit dél-afrikai geológus, aki ősföldrajzi vizsgálódásai alapján nem egy, hanem két őskontinenset tételezett fel: délen Gondwanát és északon Lauráziát (1937). Émile Argand (1879–1940) francia geológus, kizárólag földtani megfigyeléseire alapozva, 1924-ben megjelent munkájában teljesen új magyarázatot adott az Alpi-Himalája hegységrendszer kialakulására – a Wegener-elmélet figyelembevételével. Így kimutatta az afrikai kontinens észak felé történő eltolódását, Korzika és Szardínia óramutató irányú rotációját, valamint az indiai szubkontinens ütközését az ázsiai kontinenssel.

A legjelentősebb mégis az angol Arthur Holmes munkája volt (1929), aki a kontinensvándorlás meghajtóerejéül a köpenyben végbemenő *konvekciós magmaáramlásokat* tételezett fel. Elméletét azóta továbbfejlesztették, és ma ezt tekintik a kontinensvándorlás legfontosabb mozgóerejének.

Mindezek ellenére az 1930-as és az 1940-es években a Wegener-elmélet lát-szólag feledésbe merült, de már az 1950-es években új geofizikai és oceanográfiai kutatások hatására az érdeklődés homlokterébe került. Az óceánok aljzatdombor-zatának feltérképezése a II. világháború után óriási lendületet kapott a hanghul-lámok alkalmazásával. Ezt egészítette ki a mélytengeri fúrások egész sora, amire többek között a *Glomar Challenger* nevű, mélyfúrások végzésére alkalmas kutató-hajó megépítése adott lehetőséget. Kirajzolódott, hogy az óceánok területének na-gyobb része 4,8–5,5 km mély *óceáni medencékből* áll, amelyekből többnyire az óceánok középvonalában *óceánközépi hátságok* emelkednek ki 2–4 km-re a meden-cék fenékszíntje fölé. Az Atlanti-, az Indiai- és a Kelet-Csendes-óceáni hátságok több tízezer kilométer hosszúak, és szélességük több száz kilométert is elérhet. Tengelyvonalukban *központi hasadékvölgy* húzódik. Egyes helyeken, pl. a dél-ame-rikai kontinens nyugati peremén vagy szigetívek külső oldalán 10–11 km mély *mélytengeri árkokat* mutattak ki. A kutatók hamar rájöttek arra, hogy e domborzati elemek nem lehetnek a véletlen művei, hanem kialakulásuknak nagyszerkezeti okai vannak.

A geofizikai kutatásokon belül az 1950-es években az angol Stanley K. *Runcorn* paleomágneses mérései hozták a legtöbb nem várt bizonyítékot Wegener elméle-te számára. Kiderült, hogy a magmás és egyes üledékes kőzetek mintegy „befa-gyasztják” magukba a képződésük helyén és idején érvényes mágneses irányítotttságot. Ezen az alapon kiszámítható az adott helyre és időpontra érvé-nyes paleomágneses pólus helye. Azonos területen egyre fiatalabb kőzeteket megmérve, a paleomágneses pólus helyzete egy görbe mentén a mai pólus felé to-lódik el. Az összekötő vonalat *pólusvándorlási görbének* nevezték el. A jelenség két-féleképpen értelmezhető: vagy a pólus helyzete vándorolt az időben a görbe mentén, vagy pedig a pólus azonos helyen maradt, de a mérések helye vándorolt. Az utóbbi feltevést erősítette meg az, hogy kontinensenként más és más pólus-vándorlási görbéket kaptak. Márpedig a mágneses pólus egyszerre több helyen nem lehetett, tehát szükségképpen a kontinensek vándorlása az egyetlen elfogad-ható magyarázat. Ez volt az első meggyőző geofizikai bizonyíték a kontinensván-dorlás elmélete mellett. A sikerhez hozzájárult, hogy az '50-es évek második felében olyan mérési módszereket dolgoztak ki, amelyek segítségével – a radio-aktív bomlás sebességét felhasználva – a *kőzetek abszolút korát* lehetett meghatározni (radiometrikus földtani kormeghatározás). Így módon, bizonyos hibahatárok között, a magmás kőzetek abszolút korát is meg lehetett ismerni. Így derült ki, hogy az óceánközépi hátságoktól távolodva egyre idősebbek az óceán-aljzatot képező bazaltos kőzetek.

Ezek az új geofizikai megismerések, valamint az óceánfenék domborzatának és összetételének vizsgálata vezette Harry H. *Hess* amerikai geofizikust 1960-ban egy új elmélet kidolgozására, amelyet *óceántágulási elméletnek* neveztek el. Az el-mélet szerint az óceánközépi hátságok központi hasadékvölgyében bazaltos ösz-szetételű láva tör fel, ami két irányban szétterül, és az óceáni kéreg széttolja. A kontinensek peremén, ill. a szigetívek mentén az óceáni kéreg ismét a mélybe, a kontinensek alá süllyed. Ez az elmélet magyarázatot adott arra a mindaddig rej-



2. ábra. Az Atlanti-óceánt övező kontinensek számítógépes illesztése A. Bullard és munkatársai szerint (1964). Az illesztés a kontinensperemeknek legjobban megfelelő 1000 méteres mélységvonal mentén történt. Az egymást átfedő kontinensszegélyeket fekete szín jelöli

télyes körülményre, hogy az óceánok aljzatában eddig még sehol sem találtak 190 millió évnél idősebb kőzeteket, holott a kontinensek felépítésében 2-3 milliárd éves kőzetek is részt vesznek. Hess elméletét Robert S. Dietz amerikai geofizikus tovább pontosította. Szerinte az óceánfenék tágulása évente néhány centiméteres sebességgel történik.

Az óceántágulási elmélet további megerősítését szolgáltatták az óceáni geomágneses mérések. Míg a kontinenseken a mágneses anomáliák elterjedése szabálytalan, kisebb helyi hatótényezőtől függ, addig az óceáni térségekben az óceánközépi hátságokkal nagyjából párhuzamos lefutású, hosszan elnyúló, pozitív és negatív mágneses anomáliájú sávokat észleltek. Drummond H. Matthews és Frederic J. Vine angol geofizikusok 1963-ban mágneses pólusátfordulásokkal magyarázták e sávok létrejöttét. Ha az óceántágulási elmélet igaz, akkor egy-egy mágneses anomáliaszáv szélessége két mágneses átfordulás között eltelt időnek felel meg, viszonylag állandó tágulási sebességet feltételezve. Mára a mágneses átfordulások

időskáláját sikerült a felső krétaig kiterjeszteni, összhangban az óceáni mágneses anomália-rendszerrel.

1964-ben Sir Arthur Bullard angol geofizikus vezetésével számítógéppel vezérelt „legjobb illeszkedést” (best fit) számítottak ki a Wegener által felismert kontinensegyüttesre (2. ábra). A kontinensperemnek nagyjából megfelelő 1000 méteres mélységvonalra szinte tökéletes illeszkedést kaptak, bizonyítva Wegener elméletének helyességét. (Az ábrán az egymást átfedő kontinensszegélyeket fekete szín jelöli.)

1965-re született meg az első nagy lemeztectonikai szintézis J. Tuzo Wilson kanadai geológus-geofizikus tollából. E munka keretében meghatározta a lemezek érintkezési vonalainak földtani jellegét (akkréció, szubdukció és transzform lemezhatárok). Ezt a képet egészítette ki 1968-ban Xavier Le Pichon francia geofizikus a lemezek integrált mozgásrendszerének számítógépes kiszámításával és modellezésével.

A '60-as évek végére tehát részleteiben is kialakult az „új globális tektonika” elmélete, amely Wegener zseniális felismeréseit felhasználva, egységes és globális

magyarázatot tudott adni a hegységképződés és a kontinensvándorlás legtöbb kérdésére. Azt mondhatjuk, hogy ez a gyökeresen új elmélet a nyugati világban a '70-es évekre általánosan elfogadott lett. Az új elmélet hazai elfogadását és hazai alkalmazóinak körét Horváth Ferenc 1997-ben kiváló tanulmányban mutatta be. Csupán annyiban kell kiegészítenem, hogy Bárdossy György 1973-ban nemzetközi viszonylatban elsőként adott magyarázatot a bauxitok és a lateritek globális elterjedésére a kontinensvándorlás elmélete alapján.

Érdekes, hogy a fentiekben vázolt nemzetközi fejlődést egy ideig nem követte az egyébként magas szakmai színvonalat képviselő szovjet geológia és geofizika. Ennek nem szakmai, hanem elsősorban személyi okai voltak. Nevezetesen Vlagyimir V. Beluszov (1907–1990) orosz geológus és geofizikus 1960 és 1984 között a földtan és a geofizika megfellebbezhetetlen szaktekintélyének számított ebben az országban. Ő pedig fenntartotta a kontinensek állandóságának (fixista elmélet) felfogását, és legfeljebb függőleges irányú mozgásokat fogadott el. A lemeztektonika egyre sokasodó orosz hívei sokáig nem jutottak szóhoz. Csak 1984-ben, a moszkvai Nemzetközi Geológiai Kongresszuson kaphatott szót két kiváló orosz geológus, Khain és Zonnenshain, akik kimutatták, hogy az új elmélet megállapításai az akkori Szovjetunió területére is érvényesek. Ezzel a lemeztektonika elmélete a világnak ezen a részén is polgárjogot nyert.

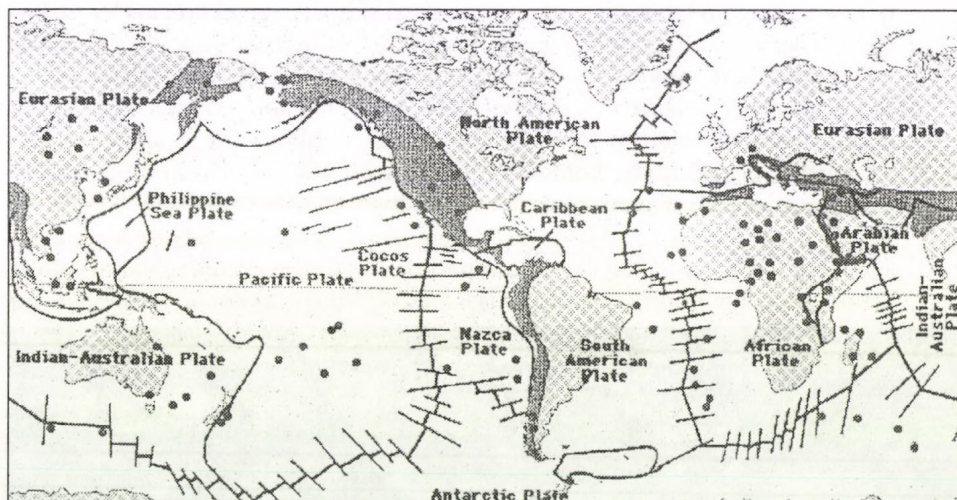
Mai lemeztektonikai ismereteink áttekintése

Az elmélet szerint a Föld legfelső része 70–130 km vastag, szilárd testként viselkedő ún. *litoszféra-lemezekből* áll, melyek a kontinensek alatt 100–130 km, az óceánok alatt pedig 70–100 km vastagok. Ezek a lemezek a földkérget és a köpeny legfelső részét foglalják magukba. A litoszféra-lemezek több száz kilométer vastag, kis merevségű, részlegesen megolvadt *asztenoszférán* úsznak. Az asztenoszféra alatt a köpeny alsó része ismét merev testként viselkedik, és ezt nevezik *mezoszféranak*. Az asztenoszféra létezését és fenti tulajdonságait szeizmikus kutatások eredményei is igazolták, amennyiben 100–400 km közötti mélységtartományban a szeizmikus hullámok terjedési sebességének lecsökkenését észlelték.

A litoszféra-lemezek napjainkban egymáshoz viszonyítva 1–10 cm/év sebességgel oldalirányú elmozdulásokat végeznek. Ez ma már nem feltevés, hanem a mikrohullámú globális helymeghatározó rendszer (GPS: Global Positioning System) segítségével az éves elmozdulások nagysága és iránya nagy pontossággal megmérhető (Ádám József, 1997).

A litoszféra-lemezek vándorlásának meghajtó ereje az elmélet szerint az a *konvekciós magmaáramlás*, amely az asztenoszférában folyik. Feltételezések szerint a Föld belsejében radioaktív elemek bomlása következtében óriási mennyiségű hő termelődik. A konvekciós magmaáramlások a hőcserélődést szolgálják az asztenoszférán belül: az alul felforrósodott magma lassan felszáll, majd oldalirányban áramlik, és közben magával vonszolja a litoszféra-lemezeket. Végül a viszonylag lehűlt magma újra leszáll az asztenoszféra aljára. Ez az elvi elképze-

lés, de az áramlási rendszerek tényleges alakja, mérete és időbeli állandósága ma még erősen vitatott kérdés. Háromdimenziós modellszámítások eredményei szerint a szubdukciós zónák alatt lemezszerűen lebukó áramlás folyik, míg a litoszféra-lemezek belsejében felszálló oszlopot képező konvekciós áramlás tételezhető fel (Cserepes László, 1993). Az utóbbiak felszínvetületét nevezik *forró pontoknak* (hot spots). Ezek legmeglepőbb tulajdonsága az, hogy a lassan vándorló litoszféra-lemezekkel szemben látszólag egy helyben maradtak. Ezt jelzik pl. a Csendes-óceánban ÉNY–DK irányú sorba rendeződött és délkelet felé egyre fiatalabb tenger alatti vulkánok (Emperor), majd a vulkáni Hawaii-szigetek. A számítások szerint ez a forró pont legalább 80 millió éve működik, miközben felette a csendes-óceáni lemez folyamatosan északnyugat felé vándorolt. A forró pontok kialakulását kürtöszerűen felemelkedő magmaáramlással, ún. *köpeny-diapírokkal* (mantle plumes) magyarázzák. Jelenleg mintegy 30–50 forró pont létezését tételezik fel a kutatók. Nemcsak az óceánok területén, hanem a kontinenseken is megtalálhatók (3. ábra). A számítások szerint összesen három nagy termikus konvekciós cella működik napjainkban.



3. ábra. A fő litoszféra-lemezek és azok határai.
A fekete pontok az ún. forró pontokat jelölik

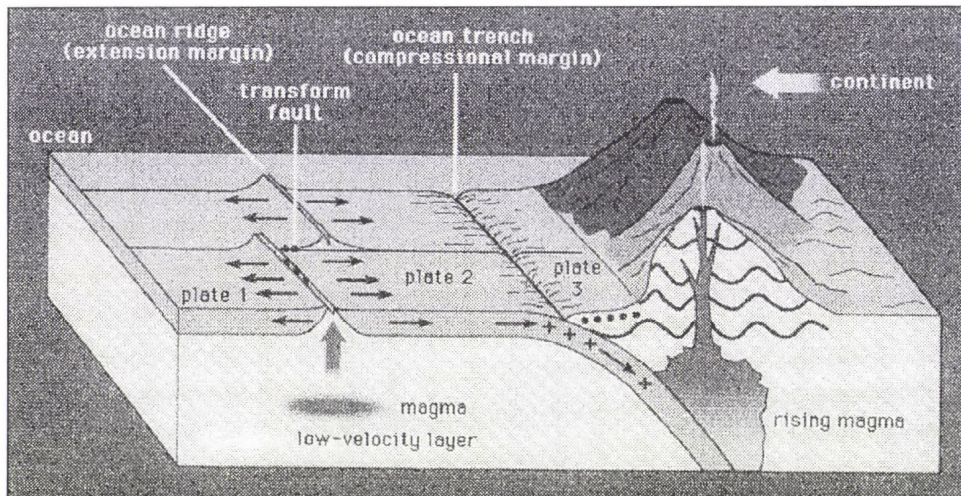
Amennyiben a konvekciós magmaáramlások indítóoka valóban a radioaktív elemek bomlása során képződő hőenergia, úgy figyelembe kell vennünk, hogy a földtörténet során a bomlás sebessége és vele együtt a hőtermelés mértéke a fizika törvényeinek megfelelően szükségszerűen csökkent. Ebből következik, hogy modellszámítások szerint 3 milliárd éve a konvekciós magmaáramlások sebessége a mainál legalább kétszer gyorsabb lehetett. A nagy kérdés az, hogy vajon a litoszféra-lemezek is ennyivel gyorsabban vándoroltak-e ebben az időben.

Jelenleg a Föld felszínén 8 nagyobb és kb. 20–30 kisebb litoszféra-lemezt különböztetünk meg. Vannak olyan lemezek, amelyek kizárólag óceáni kéregrészeket

foglalnak magukba, pl. a Csendes-óceáni-, a Nazca- és a Karib-tengeri-lemez, mások viszont, és ez a többség, óceáni és kontinentális kéregrészeket egyaránt magukba foglalnak pl. az Észak-amerikai-, a Dél-amerikai-, az Eurázsiai- és az Indiai-ausztráliai-lemez (lásd a 3. ábrát). Hangsúlyozni kell, hogy ez csak a mai helyzet, mert az elmélet szerint a litoszféra-lemezek a földtörténet során állandó vándorlásban voltak, időnként összeütköztek és összeforrtak, másutt szétszakadtak. Az összeforrás nyomvonalát *szuturáknak* nevezték el, a szétszakadás vonalában pedig *riftesedésről* beszélnek a kutatók. Így például egyöntetű vélemény szerint jelenleg Afrikában, a Kelet-afrikai-árok vonalában folyik kontinensméretű riftesedés.

A litoszféra-lemezek érintkezési vonalai földtani-geofizikai szempontból háromfélék lehetnek:

- Divergens vagy akkréciós lemezhatárok.* Ezek két, egymástól távolodó litoszféra-lemez határvonalát képezik, többnyire az óceánközépi hátságok tengelyvonalában. Új óceáni kéreg képződik e vonal mentén: a központi hasadékvölgyben felnyomuló bazaltos láva a litoszféra-lemezeket szétfeszíti. Izland szigete kiterjedt vulkanizmusával szintén egy akkréciós lemezhatáron fekszik, vulkánjai jellegzetes szétterülő pajzsvulkánok. Az akkréciós lemezhatárokat a sekély fészű földrengések gyakorisága jellemzi.
- Konvergens vagy ütköző lemezhatárok* két egymás felé mozgó litoszféra-lemez határán vannak. Három fő esetet lehet megkülönböztetni. A leggyakoribb az, amikor óceáni kéreg kontinentális kéreggel ütközik. Ilyenkor a sűrűbb, nagyobb fajsúlyú óceáni kéreg ferde sík mentén a kontinentális kéreg alá bukik, majd a mélyben fokozatosan megolvad. *Szubdukciónak* nevezik ezt a jelenséget, elvi sémáját a 4. ábrán láthatjuk. Jó példája ennek a Nazca-lemez ütközése a dél-amerikai kontinenssel. Szubdukció akkor is létrejöhet, ha

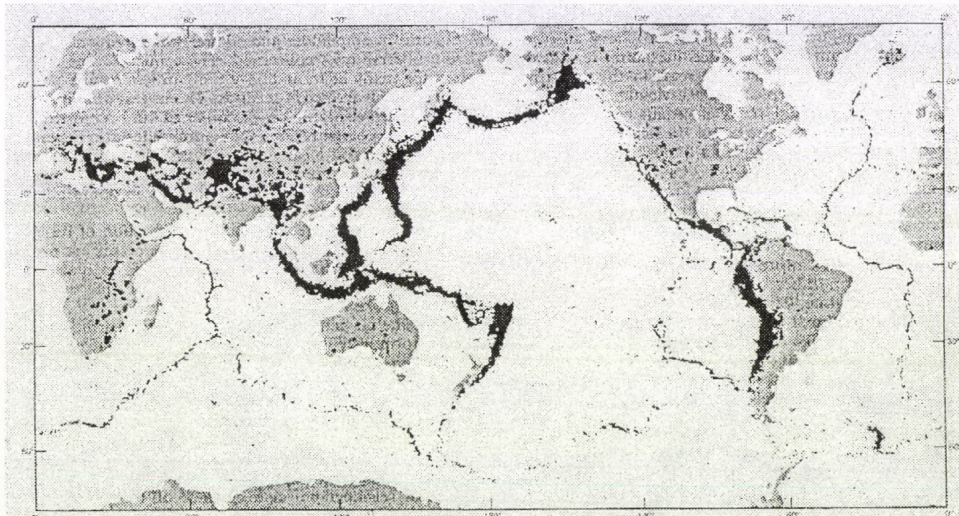


4. ábra. Az óceáni és kontinentális kéreg határán kialakult szubdukció elvi vázlata. A vázlat bal oldalán akkréciós lemezhatár és egy transzform törés látható

óceáni kéreg ütközik óceáni kéreggel. Jó példái ennek a Csendes-óceán északnyugati és nyugati részének szigetívei, amelyek külső oldalán ma is szubdukció van folyamatban.

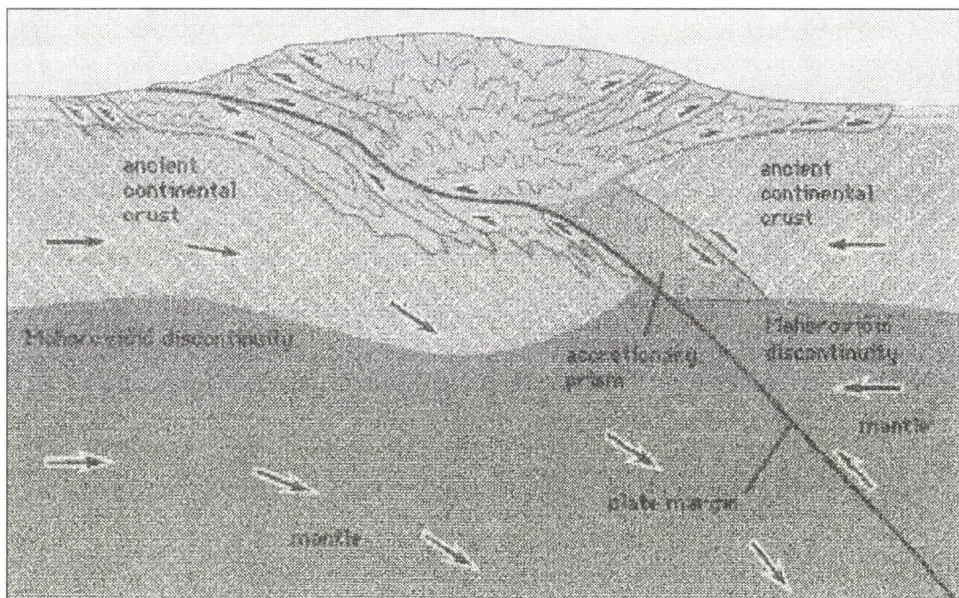
A lebukó óceáni lemezt mélytengeri árkok kísérik. A szubdukciós öveket erős explóziós jellegű, túlnyomóan andezites vulkáni tevékenység jellemzi. A földrengések is gyakoriak (5. ábra). A földrengések fészkei egy ferde sík mentén egyre mélyebben helyezkednek el („Benioff-zóna”). Ebben az övben található az összes mély fészke földrengés. Az ívek külső oldalát erőteljes negatív gravitációs anomáliák jellemzik.

Végül az is előfordul, hogy kontinentális kéreg ütközik egy másik kontinentális kéreggel, pl. az indiai szubkontinens ütközése az eurázsiai lemezzel. Szubdukció nem tud ilyenkor létrejönni az egymással ütköző lemezek nagy vastagsága és közel azonos sűrűsége miatt. E helyett az ütköző lemezek egymásra torlódnak, majd kiemelkednek (6. ábra). Így jött létre a Himalája hatalmas hegységvonulata. Az ilyen ütközési zónákban is gyakoriak a földrengések (lásd az 5. ábrát).

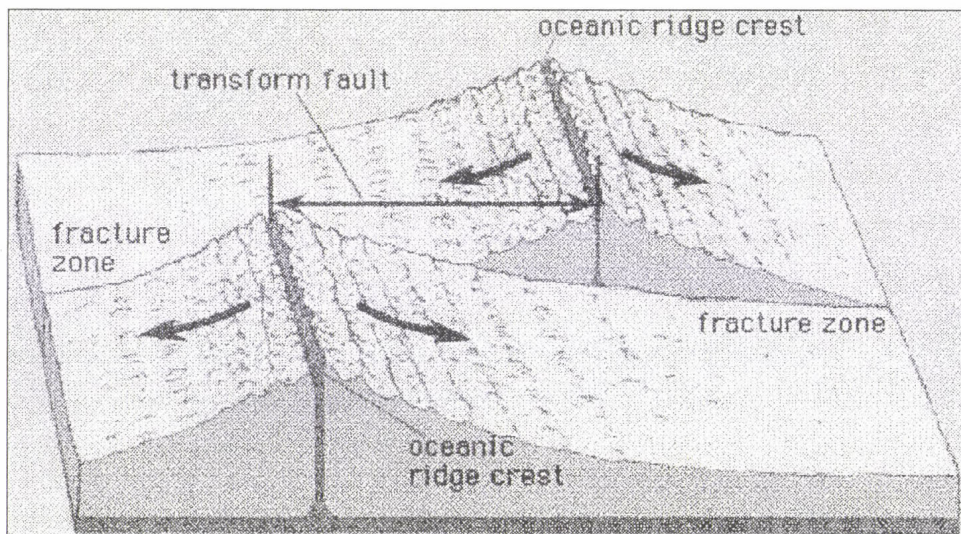


5. ábra. Az 1963 és 1977 között kipattant földrengések epicentrumai

- c) *Transzform törésvonalak* jönnek létre, ahol két litoszféra-lemez egymás mellett elcsúszik. A transzform törések az akkréciós lemezhatárokon a leggyakoribbak, ahogy ezt a 3. ábrán jól láthatjuk. Pl. a Középatlanti-hátságon 50-60 km-enként található a hátságra merőleges transzform törések, melyek mentén az akkréciós lemezhatár oldalirányban 5-40 km-t mozdult el. A 7. ábrán látható e relatív elmozdulások elvi sémája. A transzform törések mentén viszonylag sok sekély fészke földrengés fordul elő. Észak-Amerika nyugati partjaihoz közel húzódik a híres San Andreas-törésvonal, amely mentén a csendes-óceáni lemez az amerikai lemezhez viszonyítva északnyugati irányba csúszik, számos földrengést okozva.



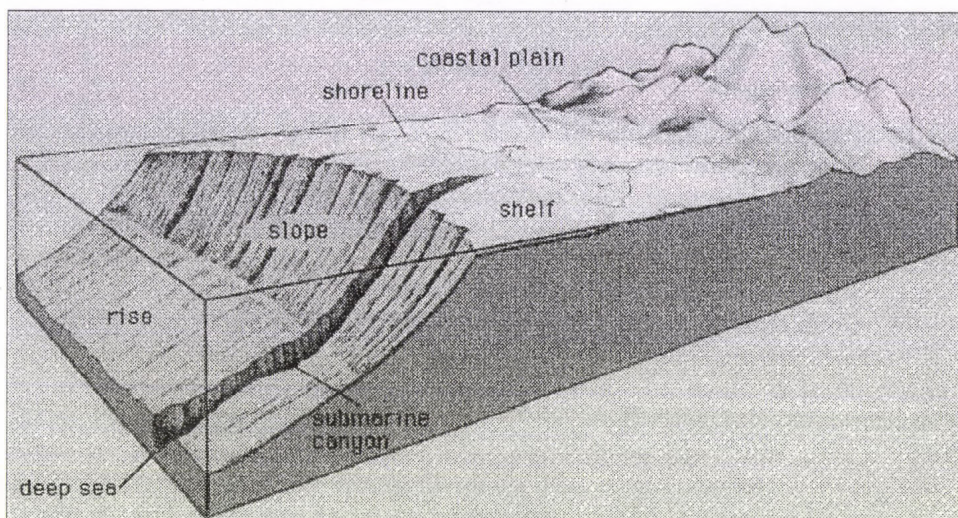
6. ábra. Két kontinenslemez ütközésének elvi vázlata



7. ábra. Óceánközépi hátság és transzform törésvonal elvi vázlata
a relatív elmozdulásokkal

A lemeztektonika elméletének egyik sarkalatos pontja az, hogy a litoszféra-lemezek belseje egységes merev testként viselkedik. Jó összhangban van ezzel a feltevésével az a megfigyelés, hogy a litoszféra-lemezeken belül – a forró pontok kivételével – viszonylag kevés a szeizmikus és a vulkáni tevékenység. A korábbi-

akban már említettem, hogy litoszféra-lemezen belül kontinentális kéreg óceáni kéreggel érintkezhet, pl. Európa és Afrika nyugati partjai mentén. Ezek mentén nincsenek tektonikus mozgások, vulkáni kitörések vagy földrengések. Igen jellegzetes a domborzat lefutása: a szárazföldön túl több száz kilométer széles, néhány tizedfokos átlagos lejtésű, sekély tengerrel fedett *kontinentális küszöb* következik, amely viszonylag meredek lejtővel ereszkedik le az óceáni medencék szintjére (8. ábra). Ez a morfológiai lépcső jelzi a kontinentális kéreg elvégződését.



8. ábra Az óceáni és kontinentális kéreg atektonikus (passzív) érintkezése egy litoszféra-lemezen belül (elvi vázlat)

Az a körülmény, hogy az óceáni kéreg kora sehol sem haladja meg a 190 millió évet (liász), azt bizonyítja, hogy az ennél idősebb óceáni kéregrészek már a szubdukció áldozatául estek.

Az egyre bővülő lemeztektonikai ismeretek arra ösztönözték a kutatókat, hogy megpróbálják az egyes földtörténeti korok kontinens–óceán eloszlását megrajzolni. A legkorábbi *kontinens-rekonstrukciók* a '70-es években jelentek meg (Dietz, Holden 1970, Smith, Briden, Drewry, 1973). Ezek a rekonstrukciók elsősorban paleomágneses mérések adataira alapoztak. Nagy bizonytalanságot jelentett az a körülmény, hogy paleomágneses méréssel csak az egykori szélesség határozható meg, a hosszúsági helyzet nem. Ezért ezek a rekonstrukciók kelet–nyugati irányban igen bizonytalanok voltak. A későbbiekben nagy segítséget jelentett a klímajelző ún. *indikátorképződmények* felismerése. Ilyenek a szárazföldi paleotalajok, reziduális mállástermékek (bauxitok, lateritek), folyóvízi üledékek, a sós tavak üledékei, a glaciális üledékek és egyes sekélytengeri üledékek (korallós mészkövek, sókőzetek) stb.

További információkat eredményezett bizonyos elemek (oxigén, szén) stabil izotóparányainak vizsgálata. Ezekből az egykori óceánok hőmérsékletére lehetett következtetni. Mindezekre az adatoknak a felhasználásával olyan számítógépes modellek készültek, melyek az összes adatnak a legjobban megfeleltek. Ezek a vizsgálatok az ős-éghajlaton (paleoklimatológia) ugrásszerű fejlődését eredményezték, de egyúttal a lemeztektonikai ismeretekre is visszahatottak. Nyilvánvalóvá váltak ugyanis a feltételezett egykori lemezmozgások, -ütközések és riftesedések ellentmondásos pontjai, amelyekre aztán a kutatók figyelmüket összpontosítani tudták.

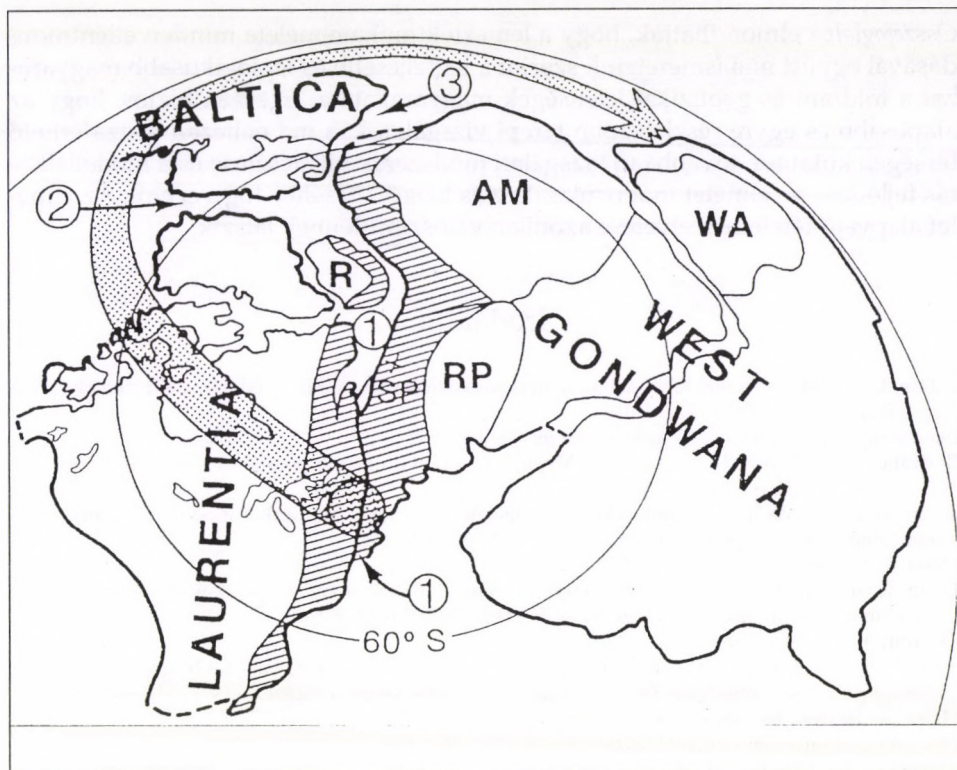
Nyitott kérdések

A lemeztektonika elmélete számos olyan jelenségre tudott egységes magyarázatot adni, amelyeket korábban egymástól többé-kevésbé függetleneknek tartottak, pl. vulkanizmus, magmatizmus, metamorfizmus, paleoklíma. Ezenfelül a gyakorlati nyersanyagkutatás számára is teljesen új távlatokat nyitott. Mindezek mellett számos kérdés még megválaszolatlan maradt, sőt bizonyos ellentmondások is adódtak. Ezek közül csak a legfontosabbakat tekintsük át!

– A korábbiakban már szó volt arról, hogy nem ismerjük kellő részletességgel a konvekciós magmaáramlások mai tényleges alakját és méreteit. Jóval nagyobb kérdést jelent az, hogy a kontinensrekonstrukciók eredményei szerint ezek a magmaáramlások térben változtatták a helyüket, egyesek megszűnhettek, más-
hol pedig, úgy tűnik, újak jöttek létre.

– Egy másik alapvető kérdés az, hogy meddig érvényes időben az aktualizmus elve a lemeztektonikára. Az bizonyítottnak látszik – a radioaktív elemek exponenciálisan csökkenő hőtermelése miatt –, hogy minél jobban megyünk vissza az időben, annál gyorsabbak lehettek a magmaáramlások, és ennek következtében a litoszféra-lemezek is gyorsabban mozogtak. Modellszámítások szerint a proterozoikumban még érvényesek voltak a lemeztektonikát megszabó törvényszerűségek. A 2,6 milliárd évnél idősebb *archaikumra* viszont már nagy valószínűséggel nem érvényesek a mai lemeztektonikai elvek (C. W. Passchier, 1995). Jóval kisebb kontinenslemezek léteztek, ezek gyorsabban vándoroltak, és gyakrabban ütköztek. Ezért a mainál jóval intenzívebb magmatizmust és szeizmikus tevékenységet kell feltételeznünk.

– Az előzőkkel kapcsolatos az a gyakran feltett kérdés, hogy vajon a Pangea volt-e a legősibb szuperkontinens. Rodger T. Faill amerikai geológus szerint (1997) a proterozoikumban a Pangea helyén legalább két nagyobb és több kisebb kontinenslemez létezett, és közöttük a Theiának elnevezett ősóceán terült el. A proterozoikum végén e kontinenslemezek ütközése hozta létre az ún. Grenville-orogén övet (9. ábra). Ez a modell részben új földtani megfigyelésekre alapul, de nagy része feltevés. Az mindenesetre biztosnak látszik, hogy már a Pangea előtt is jelentős lemeztektonikai átrendeződések történtek.



9. ábra. Rodinia őskontinens helyzete a proterozoikum végén R. T. Faill (1997) szerint. A csíkozás a Grenville-orogén öv kiterjedését jelzi. A pontozott nyíl az Appalach hegység relatív elmozdulását mutatja a paleozoikum végéig. AM = Amazónia, RP = Rio de la Plata, WA = Nyugat-afrikai kraton, R = Rockall-platform, SP = déli pólus, 1 = A Theia óceán maradványa az ütközés után

– Az egyik legsúlyosabb kérdés az, hogy kizárható-e jelentősebb deformáció a litoszféra-lemezek belsejében. Vannak olyan újabb geofizikai és földtani adatok, amelyek egyes helyeken lehetségesnek tartanak ilyen deformációkat. Ez pedig a lemezmozgások leírását és értelmezését még inkább bonyolulttá tenné. Mindenesetre a lemezek belső területein is előfordulnak, ha ritkán is, földrengések (lásd az 5. ábrát). Ezek kipattanásának okaira a lemeztektonika elmélete eddig nem talált megnyugtató magyarázatot.

– Mivel magyarázhatók az *eusztatikus tengerszintváltozások*, melyek egyes földtörténeti időszakokban globálisan kimutathatók, pl. a szilur és a devon határán?

– Hogyan magyarázható a lemeztektonika alapján a hosszú epirogén és a rövid orogén fázisok egymásutánja?

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a lemeztektonika elmélete minden ellentmondásával együtt mai ismereteink szerint a legteljesebb és leglogikusabb magyarázat a földtani és geofizikai jelenségek magyarázatára. Egészen biztos, hogy az alaposabb és egyre részletesebb terepi vizsgálatok, a ma nehezen hozzáférhető térségek kutatása, továbbá új vizsgálati módszerek kifejlesztése és a modellalkotás fejlődése az elmélet módosulásához és kiegészítéséhez fog vezetni. Az elmélet alapvető tételeinek elvetése azonban valószínűtlennek látszik.

Irodalom

- Ádám, J.: A Föld dinamikai folyamatainak nyomonkövetése kozmikus geodéziai módszerekkel. *Magyar Tudomány*, 10 (1997) 1202–1216.
- Beaumont, E. de: *Notice sur les systemes des montagnes*. 1852.
- Bertrand, M.: Rapports de structure des Alpes de Glaris et du Bassin houiller du Nord. *Bull. Soc. géol. France* (3) t. XII. (1883–84) 318–330.
- Cserepes, L.: A földköpeny termikus konvekciójának szerkezete a numerikus modellszámítások eredményeinek tükrében. *Magyar Geofizika*, 34. évf. 1 (1993) 21–29.
- Dana, J. D.: *Text-Book of Geology* (1864).
- Dietz, R. and Holden, J. C.: Reconstruction of Pangea: Breakup and dispersion of continents from Permian to present. *Journal of Geophysical Research*, 75 (1970) 4939–56.
- Du Toit, A.: *Our Wandering Continents* (1937).
- Faill, R. T.: A Geologic History of the North-Central Appalachians. Part I. Orogenesis from the Mesoproterozoic through the Taconic Orogeny. *American Journal of Science*, (1997) 551–619.
- Heim, A.: *Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung*. Basel (1878)
- Horváth, F.: Lemeztekttonika. *Magyar Tudomány*, 10 (1997) 1217–1224.
- Meskó, A.: Földrengések, földrengés-veszélyeztetettség. *Magyar Tudomány*, 5 (1996) 528–547.
- Passchier, C. W.: Precambrian orogenesis: was it really different? *Geologie en Mijnbouw*, 74 (1995) 141–150.
- Smith, A. G., Briden, J. C., Drewry, G. E.: Phanerozoic World Maps. *Special Papers in Paleontology*, 12 (1973) 1–42.
- Stille, H.: *Grundlagen der vergleichenden Tektonik*. Berlin, Borntraeger Verlag, 1924. 443.
- Stille, H.: *The Growth and Decay of Continents*. Research and Progress. Vol. I. (1935) 9–14.
- Suess, E.: *Die Entstehung der Alpen*. Wien, 1875. 168.
- Suess, E.: *Das Antlitz der Erde*. Wien, 1909.
- Termier, H. et Termier, G.: *L'évolution de la lithosphère*. Masson et Cie. Paris, 1961. 471.
- Wegener, A.: *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* (1915).
- Wilson, J. T.: *Continents Adrift and Continents Aground* (1976).

Légkör-óceán kölcsönhatások (El Niño)

Mészáros Ernő bevezető előadásában említette a homo sapiens eredete kapcsán Kelet-Afrikát. 1967–68-ban ott dolgoztam a Viktória, Kioga és Mobutu Sese-Seko tavak vízgyűjtőjének hidrometeorológiai felmérésén. Nemzetközi csoportunknak volt egy nagy problémája a sok között, nevezetesen az, hogy fél év után gépkocsiparkunk romokban hevert, rengeteg volt a baleset. Akkor válságértekezletet tartottunk, melyen két hidrológus kollégámmal beszéltünk e témáról. Az egyik kolléga Schuster Feri volt Frankfurtból, a másik pedig Gavrilovics Pista Belgrádból (különben mindketten jól beszéltek magyarul). Schuster Feri türelmetlen, haragos természetű, de gyakorlatias ember volt. Azt mondta: egy megoldás van, el kell zavarni a sofőrjeinket, vagy más feladatot kell nekik adni. Pista viszont megvédte őket, és azt mondta, hogy ezek kitűnő sofőrök, csak a szemléletükkel van baj. Mert mi, amikor egy belátatlan kanyar felé közeledünk, akkor lassítunk, és mindenféle váratlan fejleményre felkészülünk, ők viszont akkor kérnek tüzet, adnak gázt, és kezdenek bele egy előzésbe.

Amit elmondtam, az más szavakkal az éghajlatváltozás problémáihoz való viszonyulásunk helyzete. Itt ugyanezek a szemléletek működnek a napi sajtó szintjén. Évek óta foglalkoztat: miért van az, hogy amikor egy-egy ilyen kérdésről egy tudományos kutató nyilatkozik, rendszeresen félreértik, és miért van az, hogy a zöld mozgalmakban működő jóhiszemű emberek is rendszeresen félremagyarázzák a tudomány kérdéseit?

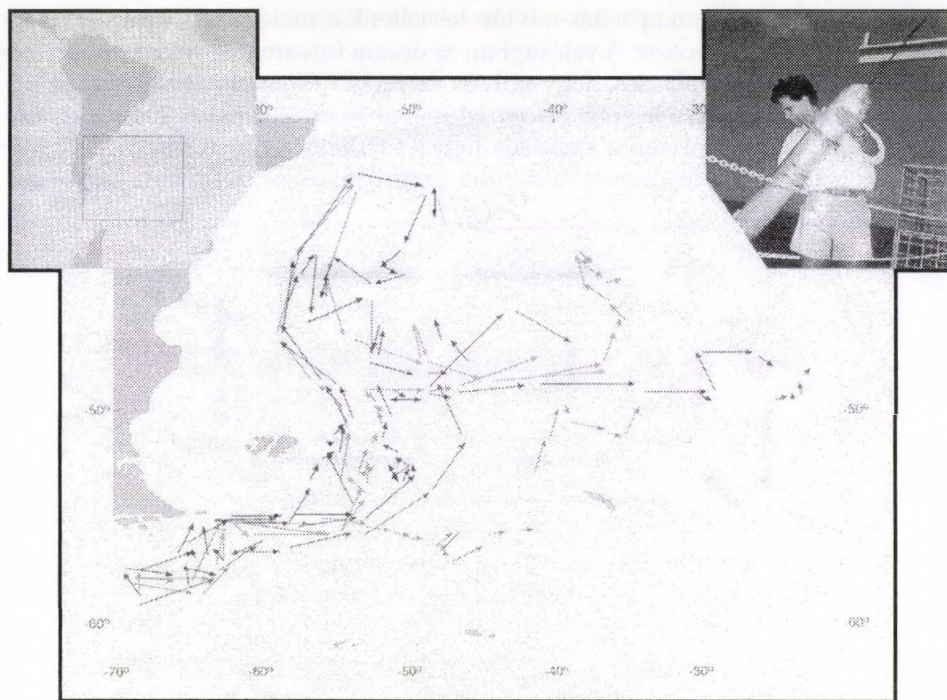
Most nem akarom ismételni mindazt, amit az éghajlatváltozás kérdéséről már máskor elmondtam. Csak négy olyan kérdést szeretnék feltenni, e témakör kapcsán, amelyekben tipikusan a szemléletek ütköznek. Az első ilyen kérdés az, hogy milyen fizikai rendszer a világóceán, és mi történik ebben a rendszerben. A másik az, hogy milyen szerepet játszik a világóceán a globális éghajlat alakításában. A harmadik az, hogy milyen veszélyt jelent az emberi tevékenység éghajlat-módosító hatása. Végül az utolsó az, hogy mennyire biztosan tudjuk mindazt, amit ez idő szerint erről a kérdésről tudni vélünk.

Amint már említettem, ez négy olyan kérdés, amelyről merőben ellentétes szemléletek léteznek. Az első kérdés tehát az, hogy milyen fizikai rendszer a vi-

lágóceán. Itt történetesen a szemben álló nézetek a „statikus vagy dinamikus?“, „mozaikszerű vagy összefüggő?“ kérdésre adott válaszokban különböznek. Gondoljunk pl. arra, milyen is egy szokásos tengeráramlási térkép. Látunk bizonyos kunkori vonalakat, melléjük oda van írva egy-egy tengeráramlatnak a neve: Golf-áram, perui áram, kaliforniai áram stb. Azt sugallja egy-egy ilyen térkép – és azt hiszem, nem én voltam az egyetlen, aki annak idején diákkoromban ezt így is fogtam fel –, hogy azok, amik oda vannak rajzolva, azok olyanok, mint a folyók, a hegyek meg a kontinensek partjai. Azok ott vannak, és kész! Nem jut eszébe az embernek, hogy ezeket nagyon sok ellentmondó adatból, átlagolással szűrték le valamikor. És bár oda van írva, hogy ott tulajdonképpen áramlások vannak, az ember nem kérdezi ösztönösen, honnan jön az a víz, ami abban az áramban folyik, és hová tart. A tengeráramlásokkal kapcsolatban ez az, ami a nagyközönség körében az uralkodó szemléletre jellemző. Tehát egy ilyen alapvető dolgot nem olyannak fognak fel, amilyen az a valóságban. Pl. nem kérdezi senki, hogy mi történik a tenger mélyebb rétegeiben.

Gondoljunk most a három nagy atlanti-, csendes-, indiai-óceáni medencére! Azt hiszem, az emberek többségének ösztönös érzése az, és a tengeráramlások térképei is azt sugallják, hogy a medencék között nincs forgalom. A mély óceán áramlásainak vizsgálata nélkül ezt nem lehetett eldönteni. Az első eset, amikor ilyen célból komoly vizsgálat történt, az volt, amikor 1923 és 1925 között a németek végrehajtották az úgynevezett Meteor expedíciót. Ez az expedíció úgy jött létre, hogy Fritz Haber kémikus, 1918. évi Nobel-díjas azt javasolta, Németország háborús adósságát a tengervízből kivont arannyal fizessék ki. Akkor felszereltek e célból egy kutatóhajót, és igen pontos méréseket hajtottak végre. Több mélységi keresztmetszetet vettek föl az északi 20-as és a déli 60-as szélesség között az Atlanti-óceánban. Az aranyról hamar kiderült, hogy nem elegendő, viszont sok egyebet megtudtak. Kimutatták pl., hogy az Atlanti-óceán déli medencéjében az Egyenlítő felé irányuló meleg áramlás van, ami nagyon meglepő dolog volt. A második világháború miatt ez a téma hosszú időre lekerült a napirendről. De az 1970-es években, amikor a fizikai oceanográfia gyors fejlődésnek indult, újra elkezdték részletesebben vizsgálni, mégpedig olyan berendezésekkel, melyekkel a mélyebb rétegekben is pontosan lehetett mérni az áramlást. Itt látható egy ún. Lagrange-bója (1. ábra), ezt bedobják a vízbe, és úgy van beprogramozva, hogy le-süllyed 700 m mélyre, két hétig vagy egy hónapig úszik abban a rétegben, utána automatikusan feljön, egy műholdnak leadja az adatait, majd megint lemerül, és megint két hetet utazik. Így keletkeztek azok a nyilak, melyek az 1. ábrán láthatók. A különböző tónusú nyilak egy-egy bójának az útvonalát jelzik. Pl. így vizsgálták meg, hogyan áramlik be a víz a Falkland-szigeteknél a Csendes-óceán felől az Atlanti-óceánba.

Ennél még érdekesebb az Atlanti-óceán déli medencéjének az Afrika felőli oldala. Az Indiai-óceánnak ezen a részén nagyon meleg víz áramlik az Agulhas-árammal lefelé. Ismert dolog, hogy ez a meleg víz az óceán legmelegebb részéről származik, a Csendes-óceán nyugati trópusi medencéjéből. A hagyományos fel-fogás azonban az volt, hogy itt ez a meleg víz az ún. Agulhas-retroflexió követ-

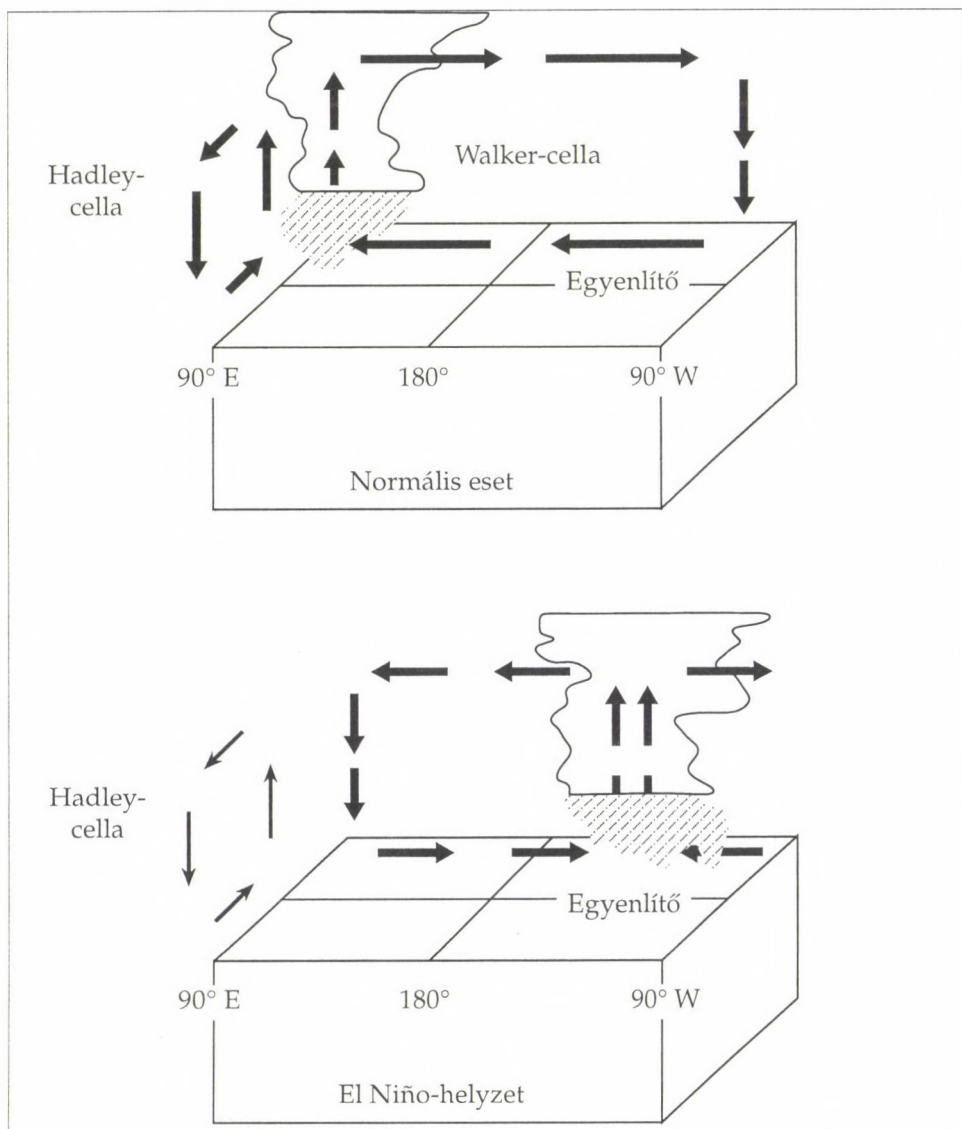


1. ábra

keztében visszakanyarodik az Indiai-óceánba, és nem áramlik nyugat felé. Kiderült, hogy ez nem így van, mert itt hatalmas, esetenként 1000 km átmérőjű, meleg vízü örvények szakadnak le, és ezek átjutnak az Atlanti-óceánba, majd követik az itteni nagy cirkulációt. Ennek keleti és északi peremén haladva átjutnak az Atlanti-óceán északi medencéjébe. Innentől kezdve ez már Golf-áram néven ismeretes. Persze rögtön felvetődik a kérdés, hogy hova tart ez a víz. Ennek megválaszolásához tudni kell, hogy az Atlanti-óceán légköri vízmérlege negatív, mert itt évente rengeteg víz párolog el, és sokkal kevesebb csapadék hullik. Ennek következtében évente kb. 12–18 milliárd tonna többletsó marad vissza, és a felszíni víz itt sósabb és súlyosabb, mint máshol. Miközben a víz észak felé áramlik, még le is hűl. S így érkezik a Grönlandi-tenger térségébe, ahol már ez a felszíni víz súlyosabb, mint az alatta lévő mély víz, és lebukik a mélybe. Ez tulajdonképpen az a vízsüllyedés, amely az egész világóceán vízkörzésének a legintenzívebb része. Ez hajtja azt, amit Wallace Broecker amerikai oceanográfus „nagy óceáni szállítószalagnak” nevezett el. A víz, mely itt lebukik, a mélyben bonyolult utakon visszaáramlik, és egy ilyen teljes kör kb. 1000 év alatt zárul.

A következő téma, hogy milyen szerepet játszik a világóceán az éghajlat alakításában. Tulajdonképpen a meteorológusok is ludasak abban, hogy ezen a téren nincs világos kép, mert egy időben azt állították, az óceánok szerepe arra korláto-

zódik, hogy a nagy hőkapacitás folytán késleltetik a melegedést, amit az üveg-házhatás növekedése okoz. A valóságban az óceáni folyamatok sokkal többre képesek. Annak illusztrálására, hogy milyen szerepet tud játszani az óceán, az ún. El Niño-anomália adja a legjobb példát. Mostanában erről nagyon sokat lehet hallani. A 2. ábra felső részén a szokásos helyzet látható, az alsó részen pedig az El Niño-helyzet. Itt a légáramlás normális körülmények között olyan, hogy a me-



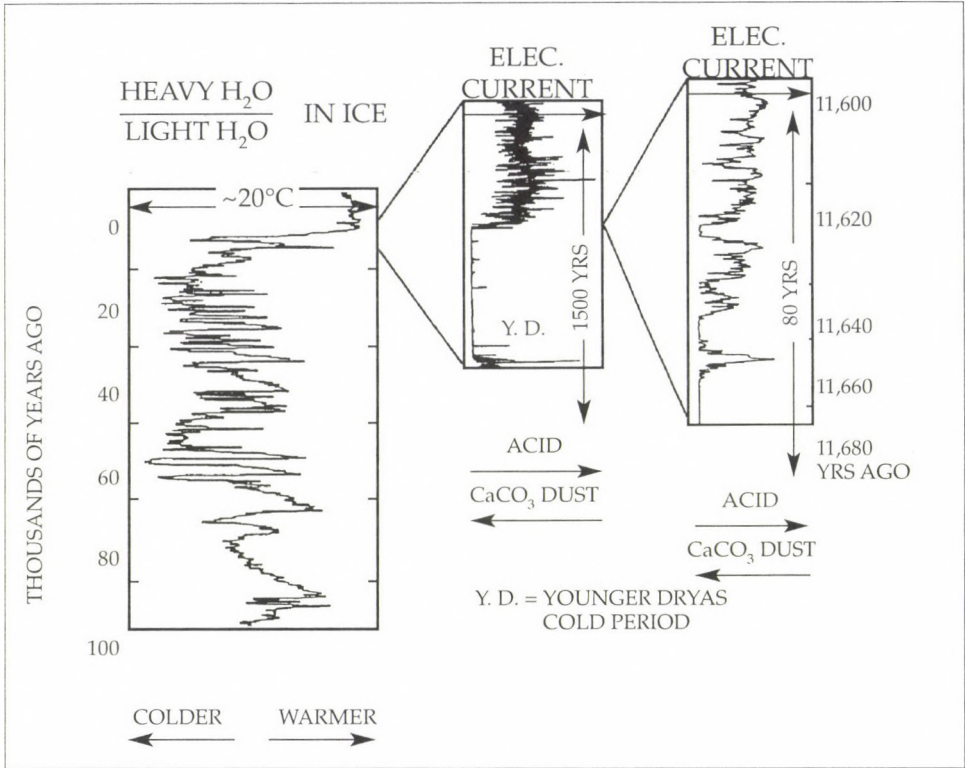
2. ábra

leg felszíni víz nyugat felé sodródik, és a nyugati oldalon felhalmozódik. A tenger szintje ott magasabb is. Dél-Amerika partjainál a víz délről áramlik észak felé, és ez hideg áramlat. Nyugaton a meleg víz felett erős konvektív tevékenység van, és rengeteg csapadék. Ez a normális eset. Keleten nincs csapadék, ezért itt sivatagok vannak. Ámde ez a meleg víz egyes években egyszer csak elkezd visszafelé áramlani az Egyenlítő mentén. Mindig van ilyen áramlás kismértékben, de ha nagyobb vízáramlás indul meg, akkor a meleg víz elérheti a dél-amerikai partot. Akkor áthelyeződik a konvektív cella keletre, és a dél-amerikai partok mentén nagy felhőszakadások alakulnak ki, a máskor csapadékos Indonéziában pedig szárazság. Ez az El Niño-anomália hatása. 1981–83-ban volt egy rendkívül intenzív El Niño-anomália, melynek kapcsán kiderült, hogy a távhatások sokkal szélesebb körűek, mint korábban gondolták. 1985-ben szerveztek egy workshop-ot Luganóban. Ennek a jelentése itt van a kezemben, melyből kiderül, akkor már ki tudták mutatni, hogy Oroszország területei fölött és Ázsia távolabbi területein is észlelhető volt ennek az El Niño-helyzetnek a hatása. Megjegyzem, hogy 1983-ban Magyarországon is aszály volt. A hazai kutatók akkor nem merték azt mondani, hogy ez az El Niño-val kapcsolatban lehet, de az a gyanúm, hogy ha az anyagot alaposan átvizsgálánk, kiderülne, az akkori hazai aszály is beleillik ebbe a képbe.

Mire volt jó ezt említenem? Ha egy viszonylag kisebb területre kiterjedő óceáni anomália, mint az El Niño, globális távhatásokat tudott előidézni, akkor képzeljük el, hogy mekkora következményei lehetnének annak, ha véletlenül az előbb említett nagy „óceáni szállítószalaggal” történne valami.

A következő kérdés az, hogy mennyire komoly probléma az ember okozta esetleges éghajlatváltozás. Ha figyelembe vesszük az előbb említett lehetőséget, akkor nagyon komoly gond. A 3. ábrán egy paleoklimatológiai metszetet látunk, 110 000 évre visszamenően. Dansgaard csinált Grönlandon két 3000 m mély fúrást, egymástól 40 km-re. A két helyen teljesen egybehangzó eredményeket kapott, melyből az látható, hogy 100 000 éven keresztül igen nagy ingadozás volt, a maihoz képest lényegesen hidegebb értékek körül, s a legutóbbi 10 000 évben egyrészt melegebbé vált az éghajlat, másrészt az ingadozás abbamaradt. Az egyik hipotézis jelenleg az, hogy egy kezdeti éghajlat-melegedés, melyet a növekvő üvegházhatás okozhat, előidézheti a sarki jégmezők olvadását, aminek következtében a Grönlandi-tenger térségében csökken a víz sótartalma. Ettől leállhat a vízsüllyedés, valamint az egész „szállítószalag”, amiből nagyfokú lehűlés származhat. Ha ezt elképzeljük, ez nagyon komoly következmény lenne.

Most jutottunk el a konklúzióhoz. Azt hiszem, világos, hogy itt olyan kérdések bukkannak fel, amelyekre sokkal nehezebb választ adni, mint ahogy az emberek általában gondolják. A valóságos probléma teljesen hamisan tükröződik a közgondolkodásban. Ugyanis azt gondolják, a veszély csak abban áll, hogy a növekvő üvegházhatás folytán fokozatos melegedésnek nézünk elébe. (Ami különösen a mérsékelt és magasabb szélességek övezetében nem igazán izgat bárkit is.) Úgy vélik tehát, hogy nincs nagy veszély, s minden bizonnyal – hála a zseniális meteorológusoknak meg a kitűnő modelljeiknek – ezt a problémát nagyon jól



3. ábra

kézben tartjuk, jó előrejelzéseink vannak, és a világpolitika bölcs irányítói ennek alapján megteszik a szükséges intézkedéseket. Ezzel szemben a valóság az, hogy a tényleges veszély sokkal nagyobb, a probléma sokkal összetettebb, és tudásunk sokkal hiányosabb, mint bárki is gondolná. Vagyis az emberek azt gondolják, hogy a veszély kicsi, de tudásunk nagy, amivel szemben a valóság az, hogy a veszély nagy, a tudásunk csekély.

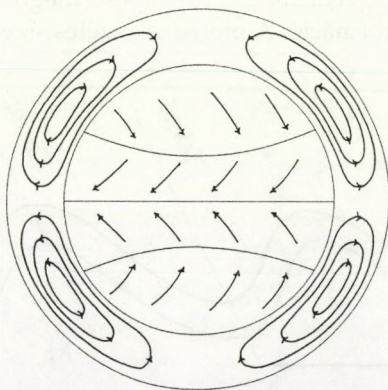
GÖTZ GUSZTÁV

A légkör dinamikája: rend és káosz

A légköri folyamatok szinte kizárólagos energiaforrása a napsugárzás, és mindaz, ami a légkörben, illetve az óceán–légkör rendszerben évmilliók óta percről percre történik, arra a végső okra vezethető vissza, hogy a Föld egyetlen pontján se alakuljon ki progresszív (tartósan egyirányú) állapotváltozás. A progresszív változás felé ható elsődleges termikus kényszer a meridionális irány mentén differenciált szoláris hőközlés, és a légkör reagálása erre a kényszerre az általános légkörczés kifejlődése.

Az általános légkörczés

A bevezetőben említett alapvető megállapítások nem új keletűek. George Hadley angol fizikus már 1735-ben felismerte, hogy a beérkező napsugárzás intenzitásá-

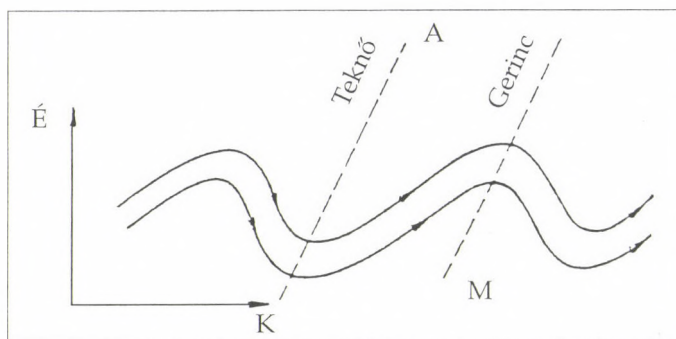


1. ábra. Az általános légkörczés földtengelyre szimmetrikus elrendeződésének modellje Hadley (1735) szerint

nak területi eloszlása következtében az alacsony földrajzi szélességek melegedő levegője fölemelkedik, a poláris tartományok hűlő levegője süllyed, és a kört az alsó szinteken az Egyenlítő, a magasabb légrétegekben pedig pólusirányú levegőátvitel zárja. Rövid, alig ezerszavas tanulmányához Hadley nem mellékelte rajzot; az 1. ábrát a leírása alapján szerkesztettük meg. Látjuk, hogy általános légkörzési sémája félteként egy a földtengelyre szimmetrikus direkt cirkulációs cellából áll, és a meridionális irányú légmozgást a Föld forgása jobbra téríti el – így alakul ki a mérsékelt szélességeken a nyugati szelek öve, a trópusi légkör alsó szintjeiben pedig a passzátszelek zónája. Figyelmet érdemlő ez a magyarázat, hiszen Gustave de Coriolis francia mérnök és matematikus csak pontosan 100 évvel később írta le a forgó vonatkoztatási rendszerben mozgó testekre ható tehetetlenségi erőt.

A tengelyszimmetrikus Hadley-cirkuláció a légkör dinamikájának hátterében álló alapvető *rendet* tükrözi. Ez a globális áramlási forma valóban az egyik megoldását jelenti a légköri folyamatokat kormányzó hidro-termodinamikai egyenletrendszernek (amelyet 1860 táján állított fel elsőként Hermann von Helmholtz német matematikus): elméletileg a cirkuláció képes lebonyolítani az egyensúly fennmaradásához szükséges meridionális irányú impulzus- és hőátvitelt. Hadley modellje a nagy földi légkörzés 100 éven keresztül általánosan elfogadott sémája volt – azután, Thomas Huxley szavaival élve, „utólérte a Tudomány tragédiája, egy gyönyörű elmélet legyilkolása egy ronda tény által”: a mind nagyobb számban összegyűlő megfigyelési adatok ellentmondtak a Hadley-féle képnek.

Ma már tudjuk, hogy a Hadley-cirkuláció (tehát egy *tengelyszimmetrikus* légkörzés) csak gyenge szimmetrikus hőközlés mellett, biliárdgolyó-simaságú, homogén égitesten lenne stabilis mozgásforma. Földünk azonban szerencsére inhomogén, szépen tagolt felszínnel rendelkezik, amelyet a Nap (dinamikai értelemben) intenzíven fűt. A szárazföldek és az óceánok – eltérő hőkapacitásuk révén – *aszimmetrikus* termikus kényszerként hatnak a légkörre, a hegyvonulatok pedig *aszimmetrikus* mechanikai kényszerrel gyakorolnak a légmozgásra. Ilyen feltételekkel a kormányzó egyenletek Hadley típusú megoldása állandósulni képtelen, instabilis áramlási formáció. A mérsékelt szélességeken a zonális áramlásra



2. ábra. Hullámok (dőlt tengelyű alacsony nyomású teknők és magas nyomású gerincek) a nyugati szelek övében

ismétlődően dőlt tengelyű vonuló hullámok helyeződnek (2. ábra), majd örvényekké (ciklonokká és anticiklonokká) fejlődnek. Ezeknek a nagy térségű diszturbációknak az életciklusa 2-3 hét. A zonális irány menti légnyomási gradiens értéke (a „zonális index”) így ciklikusan változik, és az ezt az „index-ciklust” kísérő állapotváltozások sorozatának – az időjárásnak – az előrejelzése képezi a meteorológia egyik feladatát.

Kvantitatív modellek, kvalitatív következtetések

A légkör gyakorlatilag végtelen szabadsági fokú rendszer. Bonyolult folyamatait a kutatók napjainkban olyan hidrodinamikai modellekkel igyekeznek szimulálni, amelyekben a változók száma 10^5 – 10^6 nagyságrendű. Ezek a hatalmas modellek természetesen szuper-számítógépeket igényelnek, és segítségükkel a prognosztikai világközpontok 10–15 napra készítik el (naponta többször is) *kvantitatív* formában az időjárás előrejelzését.

Az elmondottak fényében bizonyára meglepő tény, hogy az elmúlt évtizedekben a légkör dinamikájára vonatkozó néhány alapvető megállapításra mégsem a modell-óriások, hanem az olyan szisztematikusan egyszerűsített modellek vezettek el, amelyekben a változók számát 100, sőt 10 alá redukálták. Ezek az ún. alacsonyrendű determinisztikus modellek természetesen alkalmatlanok numerikus időjárás-prognózisok készítésére, viszont lehetővé tették három fontos tény *kvalitatív* megfogalmazását:

1. A légkör nagy térségű állapota a különböző időskálákon igyekszik több markáns, jól definiálható stabilis *egyensúlyi helyzet* egyikébe, majd másikába elrendeződni. E helyzetekben a légkör tartózkodási ideje viszonylag hosszú (a helyzet fennmaradása „kvázi-permanens”), és mivel lehetségesek a különböző helyzetek közötti spontán átváltások, egyensúlyuk valójában „metastabilis”. Példaként az időskála két szélén jelentkező tipikus formációkra utalunk. A rövid (időjárási) időskálán metastabilis egyensúlyi állapotként értelmezhető a korábban már említett két fő áramlási kép (ún. makroszinoptikus helyzet): a zonális áramlás által dominált állapot, illetve a „blocking”-állapot, amikor a zonális áramlást a kifejlődött örvények nyomán intenzív meridionális levegőátvitel blokkolja le. A hosszú (éghajlati) időskálán a legnevezetesebb két egyensúlyi helyzetet a földtörténeti negyedidőszak glaciális és interglaciális szakaszai képviselik; itt a ciklus periódusideje 10^5 év nagyságrendű. Érdeemes megemlítenünk, hogy több kutató a Föld jégmentes állapotát és a jelenlegi, poláris jégsapkával rendelkező állapotot (a szigorúbb értelemben vett „jégkorszakot”) szintén a klíma egy-egy metastabilis állapotának tekinti.

2. Mind az egyensúlyi helyzeteken belüli állapotváltozásokat, mind az egyensúlyi helyzetek közötti átváltásokat *irregularitás* (tehát *aperiodicitás*) jellemzi. A determinisztikus rendszereknek ez a viselkedési formája 1975-ben James Yorke amerikai matematikustól a – sokak által kifogásolt – *káosz* nevet kapta.

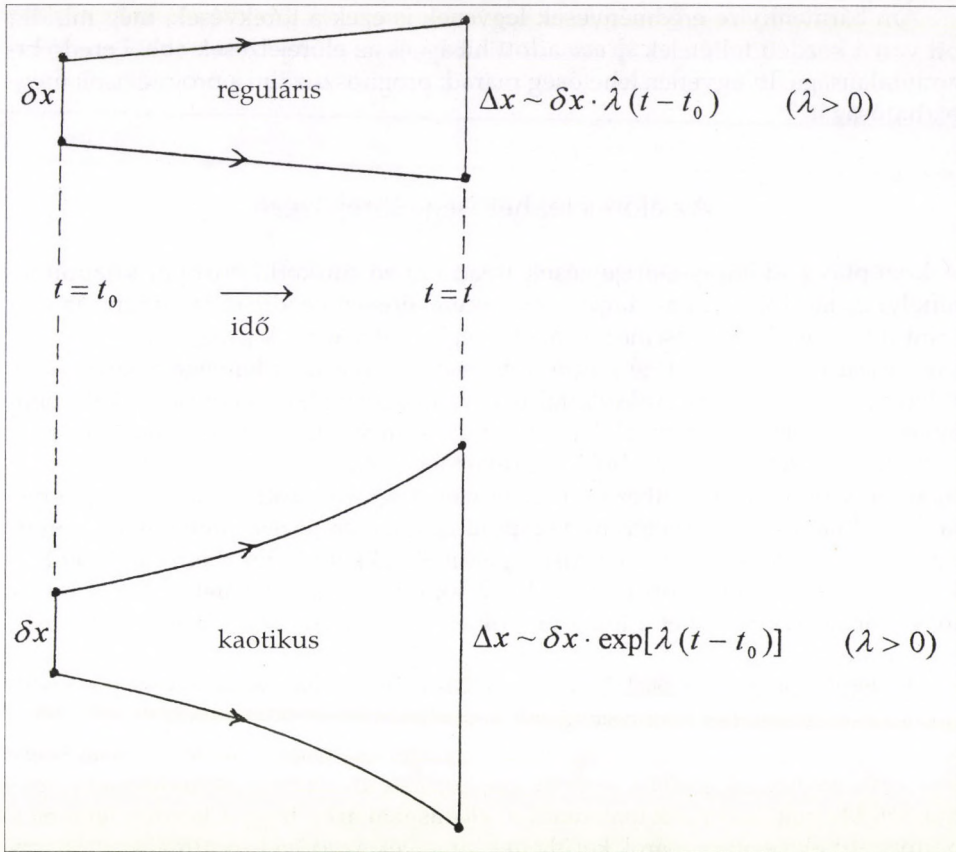
3. A kaotikus változékonyság a nemlineáris autonóm dinamikai rendszereknek a gerjesztés és a disszipáció mértékét szabályozó kontrollparaméterek meghatározott értéktartományában jelentkező állandósult viselkedési módja, amelyet ugyan zajszerű spektrum jellemez, de a változékonyság nem sztochasztikus, hanem szigorúan *determinált*. A légkör erősen nemlineáris geofizikai folyadék; irreguláris állapotváltozása (és az extrém állapotok előfordulása) a különböző időskálákon nem követeli meg a reá ható külső kényszerek aperiodikus változását, de még azt sem, hogy valamelyik külső kényszer egyáltalán megváltozzék.

Ez utóbbi következtetést azért szükséges hangsúlyoznunk, mert napjainkban a médiában mindennapos gyakorlattá vált egy-egy szélsőséges időjárási eseményben azonnal az emberi tevékenység káros következményét, a földi klíma módosulásának első jeleit föllelni. Az időben változó külső kényszerek jelentősége természetesen vitathatatlan; generációnknak az utókorral szembeni erkölcsi kötelessége különösen az antropogén eredetű globális felmelegedés veszélyét rejtő tényezők elemzése, a valószínűsíthető okok megszüntetéséhez nélkülözhetetlen intézkedések foganatosítása. Tudnunk kell azonban, hogy a légkör „szabadon” is képes extrém helyzeteket teremteni. Az általános cirkuláció modelljei mindennemű járulékos külső hatás (vulkántevékenység, naptevékenység, emberi tevékenység) teljes kizárásával is a szekuláris változékonyságnak *ugyanazt a mértékét* produkálják, ami az elmúlt 150 év során ténylegesen megfigyelhető volt.

Káosz és előrejelezhetőség

A zajszerű spektrum mellett a kaosz másik ismérve a folyamatoknak a kezdeti feltételekkel szembeni érzékeny függése (az ún. dinamikai instabilitás). A függőség a reguláris viselkedésű rendszerekben is jelen van, de amíg ott a kezdőállapotok kis eltérései az idővel *lineárisan* növekednek, kaotikus rendszerekben ez a növekedés *exponenciálisan* (tehát minden hatványfüggvénynél gyorsabb ütemben) következik be (3. ábra). Mivel a légkör állapotát elvileg lehetetlen teljes egzaktsággal specifikálni, az óhatatlanul meglevő kezdeti kis hibák bizonyos idő elmúltával akkorára növekednek, amekkora különbség két légköri állapot között fizikailag létezhet. Hiába lenne tehát a birtokunkban a légköri folyamatokat perfektül szimuláló prognosztikai modell, az a kísérletek szerint egy hónapon túli időre nem szolgáltatna jobb eredményt, mint a „vakprognózis”: egy véletlenszerűen is megválasztható jövőbeli állapot.

Az előrejelezhetőség korlátjával minden olyan diszciplínának szembe kell néznie, amelyben az eseményeket a nemlineáris kölcsönhatásokból származó dinamikai instabilitás befolyásolhatja. De a legtöbb diszciplínától nem követelünk meg jó prognózisokat. A meteorológiával szemben viszont 100 esztendeje anyagilag is támogatott, általános társadalmi elvárás az időjárás megbízható előrejelzése – ugyanakkor a prognózisok sikere vagy kudarca a légköri tudományok állásának, a szakma elismertségének is a fokmérőjévé vált.



3. ábra. A kezdeti kis hiba lineáris növekedése reguláris viselkedésű rendszerben és exponenciális növekedése kaotikus rendszerben

Az időjárás-előrejelzések pontosítása érdekében nemzetközileg koordinált kutatások folynak; ebben a tevékenységben a hazai szakemberek (az ELTE Meteorológiai Tanszékének és az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a munkatársai) is aktív szerepet játszanak. A fejlesztések egyik irányvonala a modellek kezdeti feltételeinek adekvát előállítása. Erre az inicializálásnak nevezett munkára jellemző körülmény, hogy a különböző időpontokból és adatforrásokból származó információ optimális kombinálására kidolgozott matematikai eljárásoknak az operatív gyakorlatba történő maradéktalan átültetése egymagában a jelenlegi legfejlettebb számítógépes kapacitás tízszeresét igényelné. Ugyancsak meghaladják a mai super-számítógépek teljesítőképességét a prognosztikai modellek fizikájának és felbontóképességének javítására, a különböző nagyságrendű folyamatok kölcsönhatásainak figyelembevételére, valamint a felszín és a légkör közötti visszacsatolásoknak a beépítésére kifejlesztett eljárások.

Ám bármennyire eredményesek legyenek is ezek a törekvések, még mindig ott van a kezdeti feltételek *ab ovo* adott hibája és az előrejelzések ebből eredő bizonytalansága. Itt egyetlen lehetőség marad: prognosztizálni a prognózisok megbízhatóságát.

Az előrejelezhetőség előrejelzése

A középtávú időjárás-előrejelzések Readingben működő európai központja, amelynek hazánk is társult tagja, 1992 decemberében kezdte el rendszeresen csatolni tíznapos előrejelzéseikhez az azok megbízhatóságának prognózisát. Az eljárás *ensemble* (vagy *együttes*) *prognosztika* néven ismert, és lényege a következő. Ellentétben a múltbeli gyakorlattal (és számítástechnikai lehetőségekkel), nem egyetlen előrejelzés készül el, hanem a mérési hibahatáron belül *egyformán valószínű* kezdőértékek halmazából kiindulva több (többször tíz) prognózis. Az eredmények szórásából következtetni lehet arra, hogy az adott időjárási helyzethez tartozó dinamikai instabilitás milyen pontosságú előrejelzést enged meg. A prognosztizált adatok szórása statisztikus paraméterekkel jellemezhető – az azonban kérdés (és az alkalmazott meteorológia fontos kutatási területe), hogy ezt az információt miként lehet a felhasználók és a nagyközönség számára érthetően közreadni.

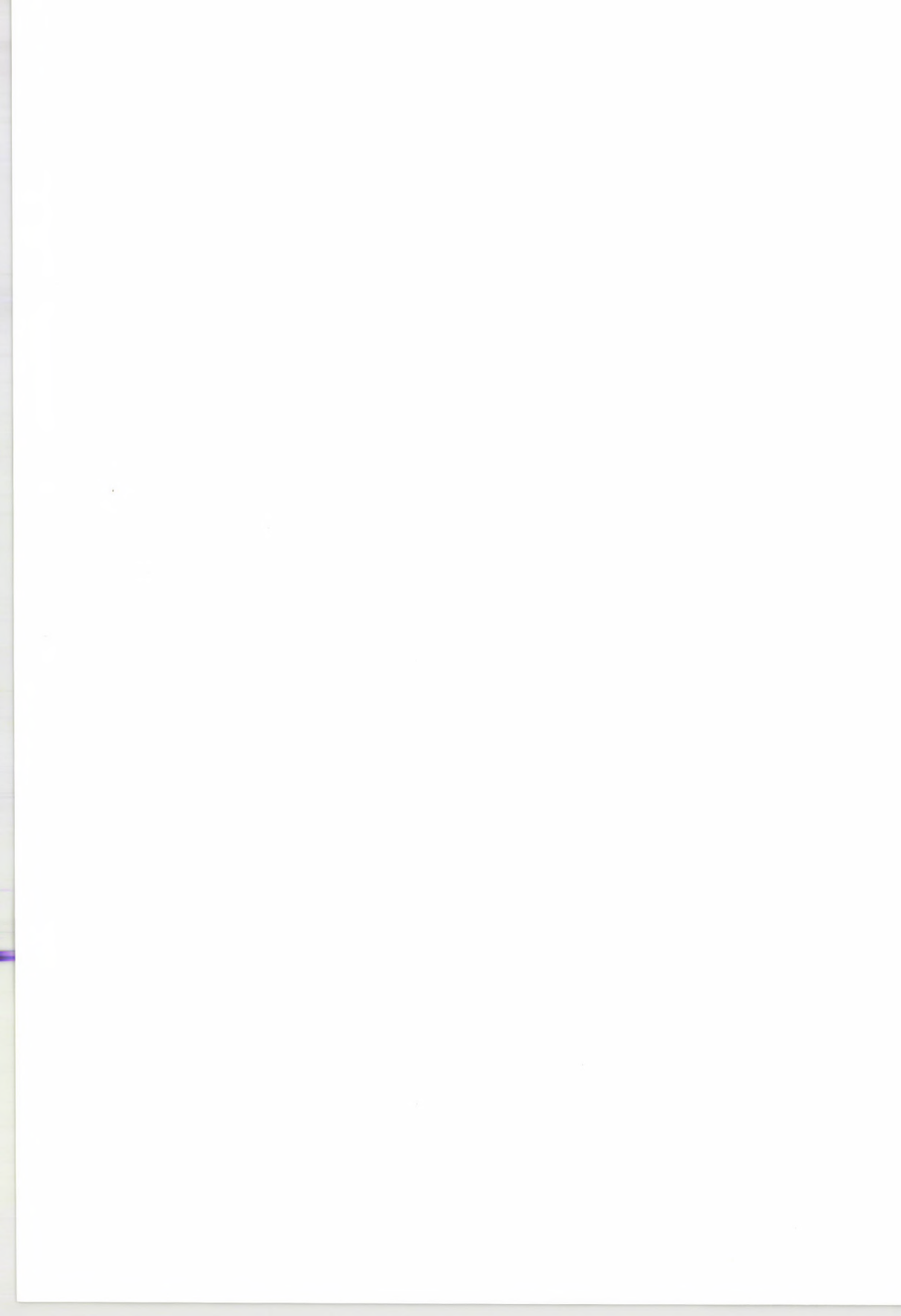
Az együttes előrejelzések legegyszerűbb változatában véletlenszerűen történik a kezdő feltételek kijelölése (ezért nevezik ezt az eljárást Monte Carlo-előrejelzéseknek is). Pazarló módszer, hiszen semmi biztosítékunk nincs arra, hogy egy-egy kezdőérték-párhoz tartozó előrejelzés-pár valóban távolodni fog egymástól. Ma már ismerünk matematikai eljárásokat arra, hogy a kezdeti feltételek halmazába eleve olyan párok kerüljenek, amelyek az idővel „optimálisan” divergálnak.

Egy a matematikában régóta alkalmazott, de a meteorológiai gyakorlatban csak az utóbbi időben tért hódító módszer további lehetőségeket rejt magában. Tegyük fel, hogy ismerjük előrejelzéseink szórását. Ebből megállapítható, hogy valamelyik prognosztizált mérték (például adott területre egy adott időszakban a várható csapadék mennyisége) mennyire érzékenyen függ az előre jelzett állapotváltozók szórásától. Ennek az érzékenységnak az ismeretében a diszkrét idejű (tehát kis időlépcsőket használó) előrejelzési modelloperátor mátrixának a transzponáltjával kiszámítható, hogy *milyen* kezdeti feltételek és *hol* (melyik földrajzi tartományban) befolyásolják a legérzékenyebben a kiválasztott prognosztizált mértékünket. Az eljárást tágabb matematikai értelemben *adjungált módszernek* nevezik, és mivel az folytonos idejű modell esetében időben *visszafelé* (az előrejelzési időpontból az induló időpontba) történő integrációnak felel meg, így alkalmazásánál természetesen számolni kell azokkal a nehézségekkel, amelyek az időközben esetleg fellépő irreverzibilis folyamatokból származnak.

Egy epizód a jövő század regényéből

Tételezzük fel, hogy valamikor a jövő század elején, mondjuk, 2020 májusában, az előrejelzések a Duna felső vízgyűjtő területére húsz nap távlatában hatalmas esőzést valószínűsítenek, amely komoly árvízveszéllyel fenyeget. Az adjungált módszer segítségével azonosítható, hogy a csapadék várható mennyisége főként két tényezőtől függ: az Európa belsejébe északnyugat felől áramló légtömegek hány százaléka kel át az Alpokon, és milyen hányada kerüli meg a hegyvonulatot, továbbá attól, hogy milyen intenzív lesz a Genovai-öböl térségébe érkező levegő és a tengerfelszín közötti hőcsere. Ezért egy központ riasztást ad: részletes mérési program elvégzésének feladatával az Alpok fölé repülőgépek indulnak, a Földközi-tengerre hajók futnak ki. A szokásosnál lényegesen bővebb információ ezekben a kritikus körzetekben lehetőséget nyújt a kezdő feltételek pontosabb megadására, az árvízveszély folyamatos és egyre megbízhatóbb értékelésére...

Történetünk már a harmadik évezredben zajlik, de – figyelembe véve a meteorológia területén folyó jelenlegi nemzetközi együttműködést – ez a jövőkép talán nem pusztán illúzió.



ÁDÁM JÓZSEF

A Föld dinamikai jelenségeinek vizsgálata korszerű kozmikus geodéziai méréstechnikák alkalmazásával

Bevezetés

Az elmúlt két évtized folyamán nyilvánvalóvá vált, hogy környezetünket globális (földi) méretekben egységes egésznek kell tekintenünk a rendkívül összetett dinamikai, fizikai és kémiai kölcsönhatásaival együtt, amelyek összekapcsolják az óceánokat az atmoszférával, az atmoszférát a szárazfölddel, az alacsony légkört a felsővel és ezeken túlmenően az óceánt a Föld belsejével. A Földre ható külső és a belső erők, valamint ez utóbbiak kölcsönhatásai Földünk folyamatos állapotváltozásait eredményezik, s ezek rendkívül összetett mozgások formájában jelentkeznek a földfelszínen [1, 2]. Az e mozgások leírásával és okainak feltárásával, valamint az ezekhez szorosan kapcsolódó erőterek (a mágneses és nehézségi erőtér) változásainak vizsgálatával foglalkozó *geodinamika* az elmúlt évtizedek során az intenzív nemzetközi kutatások tárgyává vált. Azonban az igen gyors fejlődés ellenére még sok fontos kérdést nem lehetett megválaszolni a geodinamikában. Gondoljunk csak többek között a lemeztektonikai folyamatokra vagy a különböző geodinamikai folyamatok közötti kölcsönhatásokra (ilyen lehet létre például a pólusmozgás ingadozásai és a nagy földrengések között). E kérdések helyes megválaszolása bizonyos mértékig függ attól is, hogy a néhány km-től több ezer km távolságra levő földfelszíni pontok mozgásait, egymáshoz viszonyított helyzeteit és ezek változásait milyen pontossággal tudja a *geodézia* mérőberendezéseivel meghatározni és nyomon követni.

A geodinamikai kutatások természetéből adódik, hogy a geodézia részéről igen magas szintű mérési és adatkiértékelési technikákra van szükség. Így ha pl. a kéreglemezek mozgásait kívánjuk mérni és a mozgásokban valamilyen okból bekövetkezett hirtelen változást detektálni, akkor a földfelszíni pontok közötti távolságot legalább cm-es pontossággal kell meghatározni még a leghosszabb földfelszíni távolságok esetében is. Hasonlóan nagy pontosságra kell törekedni a pólusmozgási és a földforgási időadatok meghatározásában is, ha pl. a pólusmozgásban a nagy földrengések okozta változásokat kívánjuk megbízhatóan felderíteni. Szükséges továbbá az említett adatoknak minél nagyobb gyakoriságú

meghatározása (lehetőleg néhány órás időközönként), valamint az adatok által képviselt földi és csillagászati vonatkozási koordináta-rendszer meghatározásának és folyamatos fenntartásának is a kellő pontossággal történő biztosítása a megfelelő ok-okozati összefüggések feltárása érdekében.

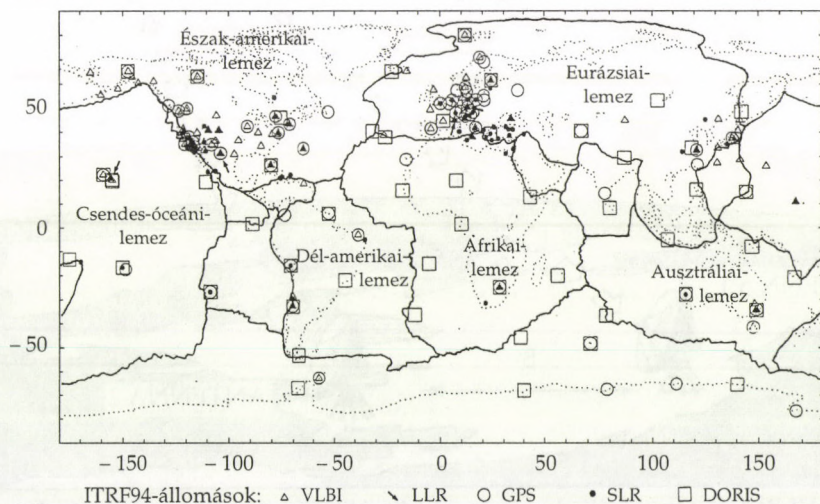
A metrikus méréseket szolgáltató *kozmikus geodéziai technikák* többsége képes a földfelszíni pontok térbeli mozgásai, a pontok közötti távolság-, illetve irányváltozások nagy pontosságú, folyamatos meghatározására. Ezek a mérési technikák lehetővé teszik a geodinamikai folyamatok példátlan pontosságú nyomon követését [3, 4, 5, 6]. Fő jellemzőjük még a nagy időbeli felbontás és a Föld egészére kiterjedő, globális alkalmazhatóság. Megjegyezzük, hogy a hagyományos geodéziai mérőeszközök (geodéziai távmérők, graviméterek, horizontális ingák, feszültségmérő műszerek stb.) is alapvető fontosságúak a geodinamikai kutatásokban, azonban szerepük elsősorban a helyi (lokális) vizsgálatokban van.

Korszerű kozmikus geodéziai mérés technikák

Mint ismeretes, a geodézia a Föld felületének meghatározásával és ábrázolásával foglalkozó tudomány. Egyrészt a Föld alakjának, méreteinek és nehézségi erőterének meghatározását, ezek időbeli változásának rögzítését, másrészt a Föld felületén található természetes és mesterséges alakzatok geometriai adatainak megállapítását és ezek alapján az alakzatok ábrázolását foglalja magában. A geodéziai feladatok megoldásában a mesterséges holdak megjelenése – az elsőt alig több mint 40 éve, 1957. október 4-én bocsátották fel – új távlatokat nyitott. A mesterséges holdakra vonatkozó mérési eredmények geodéziai célú feldolgozására, hasznosítására és geodéziai-geodinamikai értelmezésére a geodézia friss hajtásaként fejlődött ki a *szatellitageodézia*. Ez az új tudományág az utóbbi négy évtizedben számos olyan új eredménnyel gazdagította a Föld alakjára, méreteire, nehézségi erőterére és ezek időbeli változására vonatkozó ismereteinket, amelyek a hagyományos geodéziai eszközökkel nehezen lennének megszerezhetők. Újszerű, gyors bemérését és ábrázolását is biztosítja a Föld természetes és mesterséges alakzatainak. Módszereit és eljárásait kiterjesztették a Holdra, sőt a bolygókra is. Az előbbi alakjával, forgási viszonyaival, méreteivel, tömegével és nehézségi erőterével, valamint természetes alakzatainak térképezésével foglalkozik a holdi geodézia (lunar geodesy) vagy *szelenodézia* (selenodesy), az utóbbiakéval foglalkozó tudományág pedig *planetáris geodézia* (planetary geodesy) néven ismert [7, 8].

A kozmikus geodézia fogalomkörébe beleértendő a szatellitageodézia mellett a Holdon elhelyezett lézertükrökre vonatkozó lézeres távolságmérések és az extragalaktikus rádióforrások (kvazárok) földi interferométeres méréseinek geodéziai-geodinamikai hasznosításával kapcsolatos ismeretek teljes köre is. A Holdra történő geodéziai mérések alapján már nemcsak a Földünk geometriai és dinamikai viszonyairól szerezhetünk ismereteket, hanem a Holdhoz, illetve a Föld-Hold rendszerhez kapcsolódó jelenségek is tanulmányozhatók.

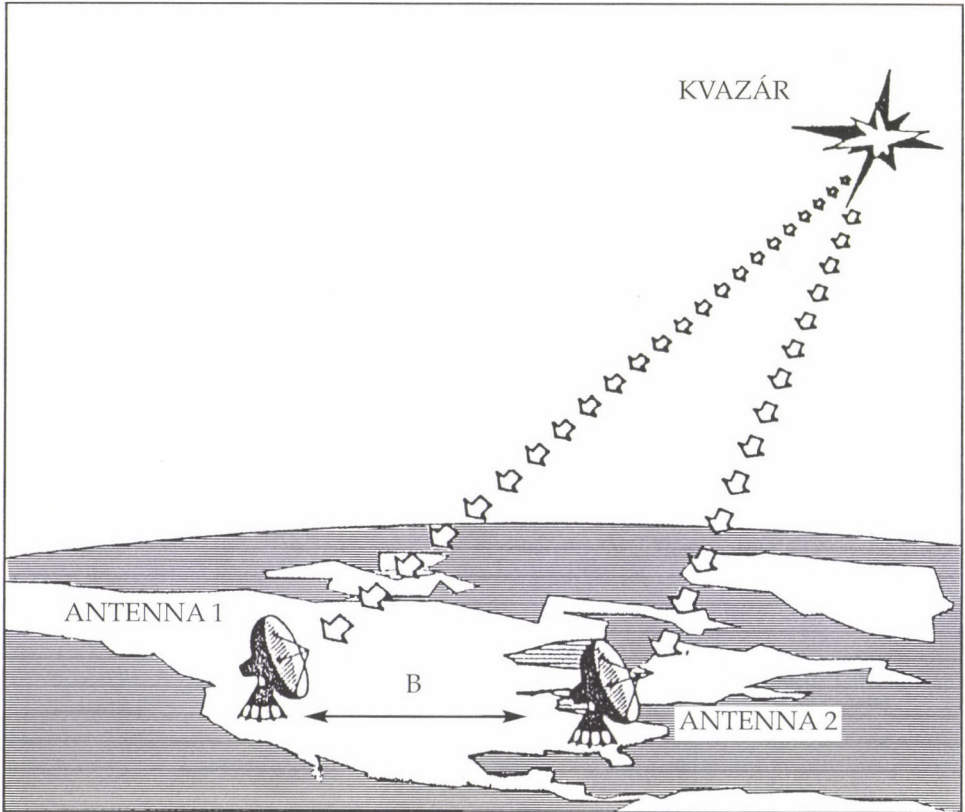
A kozmikus geodézia hagyományos módszereinek, a fotografikus, a lézeres és a doppleres műholdmegfigyelésnek célja korábban csak a helymeghatározás s ezáltal egységes geodéziai világhálózatok kialakítása volt. A jelenleg még fejlesztés alatt álló kozmikus geodéziai módszerek célja a helymeghatározáson túl a geodinamikai folyamatok vizsgálata. A továbbiakban csak azokat a technikai eljárásokat mutatjuk be röviden, amelyeket jelenleg a geodinamikai kutatások mellett a geodézia (és tágabb értelemben a földtudományok) területén alapvető vonatkozási koordináta-rendszer meghatározásában és folyamatos fenntartásában alkalmaznak. Ezek a következők: a *mesterséges holdra és a Holdra vonatkozó lézeres távolságmérés* (Satellite Laser Ranging = SLR és Lunar Laser Ranging = LLR), az ún. *nagyon hosszú alapvonalú interferometria* (Very Long Baseline Interferometry = VLBI), továbbá a mikrohullámú rendszerek közül a *globális helymeghatározó rendszer* (Global Positioning System = GPS) és a DORIS (Doppler Orbit Radiopositioning Integrated on Satellite) elnevezésű rendszer [9, 10]. A felsorolt technikák segítségével nyert geodéziai adatok és a geodinamikai folyamatok vizsgálata során nyert eredmények egységes értelmezése céljából a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Unió (International Union of Geodesy and Geophysics = IUGG) belül a Nemzetközi Geodéziai Szövetség (International Association of Geodesy = IAG) keretei között a Nemzetközi Földforgásslószólgálat (International Earth Rotation Service = IERS) tevékenységében határozzák meg a *Nemzetközi*



1. ábra. A Nemzetközi Földforgásslószólgálat (IERS) tevékenységében részt vevő földi megfigyelőállomások geometriai elhelyezkedése. Az ábrán a nagyobb kéreglemezek határvonalait is feltüntettük. A geocentrikus elhelyezésű Nemzetközi Földi Koordináta-rendszer (ITRF) 1994. évi meghatározásában és fenntartásában (ITRF94) több mint 180 állomás vett részt. Az állomások geocentrikus koordinátáinak pontossága 1–3 cm, az állomások földfelszíni mozgássebességének pontossága pedig 2–5 mm/év az ITRF94-rendszerben

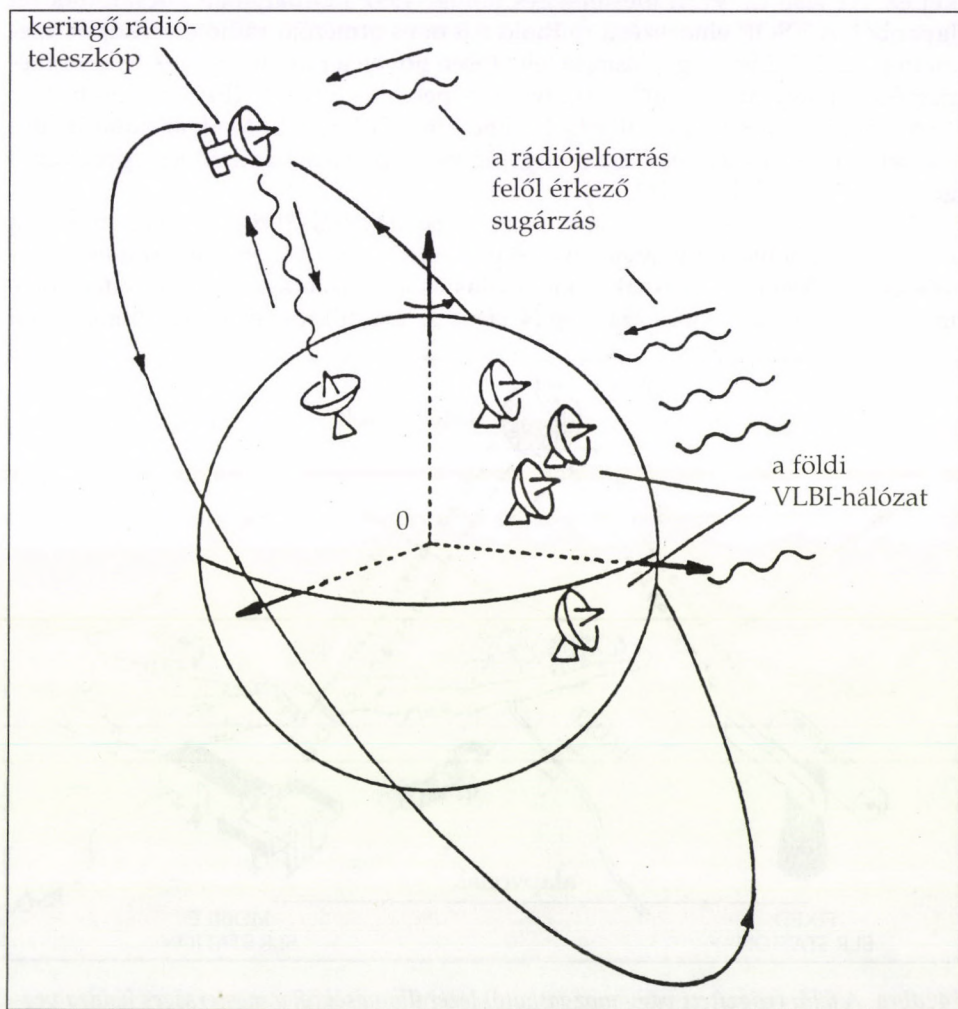
Földi Koordináta-rendszert (International Terrestrial Reference Frame = ITRF) és a Nemzetközi Csillagászati Koordináta-rendszert (International Celestial Reference Frame = ICRF), és biztosítják ezek folyamatos fenntartását és pontosítását. Az 1. ábra az ITRF 1994. évi meghatározásában (ITRF94) közreműködött állomások (és az alkalmazott űrtechnikák) geometriai eloszlását ábrázolja [9, 10].

a) A csillagászatban használatos rádió-interferometriának történeti fejlődése során az 1960-as évek végén alakult ki a VLBI-nak nevezett megfigyelési módszer (2. ábra), melyet a geodézia, a geodinamika területén is kiterjedten használnak. A VLBI tisztán geometriai módszer: a VLBI-állomások globális földi



2. ábra. A VLBI-technika mérési alaprendszere két rádiótávcsőből áll, amelyek távolsága több ezer km is lehet (sőt Földünk átmérőjét is megközelítheti). Egy időben irányozzák ugyanazt az extragalaktikus rádióforrást (kvazárt), a rádióforrásról érkező állandó frekvenciájú rádióhullámokat nagy pontosságú időadatokkal együtt mágnesszalagra veszik, és ezekből a beérkezési jelek interferenciájának kimérésével az ún. késési időt kapják meg. A jel beérkezési időkülönbségének ismeretében meghatározható a két rádiótávcső közötti távolság hossza és a kvazárokhoz viszonyított térbeli iránya

hálózata alapján több kvazárra végzett nagyszámú mérésből lehetőség van a kvazárokhoz kötött inerciális koordináta-rendszer (ICRF) és a VLBI-állomások egymáshoz viszonyított helyzetének egyidejű meghatározására. Mivel az időkézés (2. ábra) mérésének pontossága jelenleg a másodperc néhányszor egy-milliárdod része (10^{-9} másodperc), ezért a VLBI-módszerrel a földi állomások relatív helyzetét néhány mm-es, a kvazárok égi egyenlítői koordinátáit pedig néhány ezred ívmásodperc pontossággal lehet meghatározni. A VLBI az egyet-

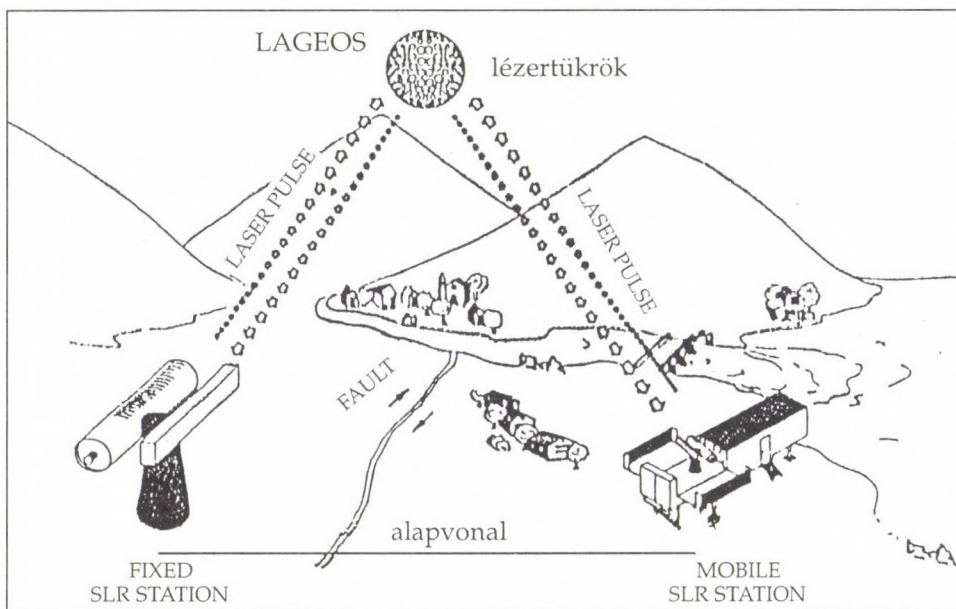


3. ábra. Az űr-VLBI-program tervezetének sematikus ábrázolása. A Föld körüli pályán keringő rádióteleszkóp a földfelszíni VLBI-hálózat állomásaival egyidejűleg észleli ugyanazt a rádiójelforrást. Az űr-VLBI-mérések a földi VLBI-hálózat mérési adataival ellentétbenfüggvénykapcsolatba hozhatók Földünk tömegközéppontjával

len mérési űrtechnika az égbolton viszonylag egyenletesen eloszló, több mint 600 kvazárhoz kötött csillagászati koordináta-rendszer (ICRF) meghatározására, mely rendszer inerciarendszerként szolgál alapul a szatellitageodéziában [11]. Jelenleg 40 földi VLBI-állomás üzemel (1. ábra).

Megjegyezzük, hogy a földi VLBI módszerének kiterjesztése alapján született meg az űr-VLBI. A technika alkalmazásához egy rádiótávcsövet kell Föld körüli pályára bocsátani (3. ábra), mely a földi teleszkópokkal rádió-interferométereket képez. Az első űr-VLBI mesterséges holdat 1997 februárjában bocsátották fel Japánból. A VSOP elnevezésű műhold 8,6 m-es átmérőjű rádióteleszkópot üzemeltet. Az űr-VLBI megvalósítása jelentősen növeli a rádiótávcsövek felbontóképességét, amely az egymilliomod ívmásodpercet is elérheti. (Ekkora szögben az 1 cm átmérőjű pénzdarab látható 2 millió km távolságból!) Magyar kutatók hívták fel először a figyelmet arra, hogy az űr-VLBI alkalmazható lesz geodéziai-geodinamikai célokra is [12, 13].

b) A mesterséges holdra vonatkozó lézeres távolságmérés (SLR) a földi állomás és a műholdon elhelyezett fényvisszaverő prizmarendszer közötti távolság értékét a kibocsátott fényimpulzusnak a kibocsátás és a visszaérkezés között eltelt ideje megmérése alapján határozza meg (4. ábra). A lézertükrökkel felszerelt geodéziai



4. ábra. A földi (rögzített vagy mozgatható) lézerállomásokról a mesterséges holdra végzett SLR-mérésekből nyert állomás-műhold közötti távolságok megfelelő feldolgozásával az állomások geocentrikus koordinátáinak (illetve az állomásokat összekötő térbeli húrok hosszának) időben sorozatos meghatározásával nyomon követhető az álláspontok földfelszíni helyzetének változása

mesterséges holdak száma mintegy 20, amelyek közül kiemeljük a LAGEOS-1 és -2 (Laser Geodynamics Satellite = Lézeres Geodinamikai Műhold) [14] (5. ábra), továbbá a Starlette, Stella, Ajisai, ERS-1 és a TOPEX/Poseidon elnevezésű műholdakat. A korszerű lézeres távmérő-berendezések mérési pontossága 1 cm alatt van 5-10 000 km távolságtartományban.

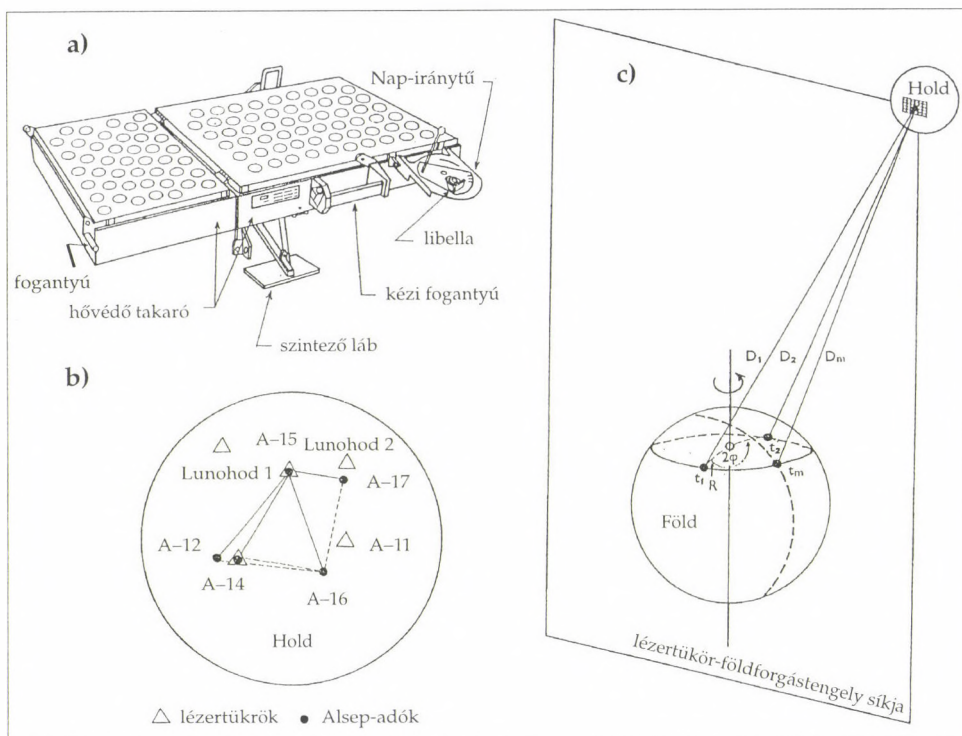
Az első sikeres lézeres távolságméréseket 1965-ben végezték az USA-ban, amelyek pontosságát néhány méterre becsülték. Az SLR-mérések először az állomások geocentrikus koordinátáinak meghatározására, majd ezen túl a nehézségi erőter szerkezetének tanulmányozására szolgáltak alapul. A távmérő-berendezések mérési pontosságának lényeges javulásával a mérési technikát geodinamikai feladatok megoldására is kiterjedten felhasználják. Jelenleg 46 SLR-állomás üzemel (1. ábra). Az SLR-technika az egyetlen űrtechnika a Föld tömegközéppontjának (a geocentrumnak, azaz az ITRF kezdőpontjának) nagy pontosságú meghatározására, valamint a földi nehézségi erőter szerkezetének és időbeli változásainak hosszú időtartamú vizsgálatára [11].

c) A Holdra történő lézeres távolságmérések (LLR) céljából a Hold felszínén az Apollo-11- (1969), -14- és -15- (1971) repülések amerikai űrhajósai helyeztek el lézertükröket (6a ábra), valamint a két Lunohod holdjárművön (1970, 1973) talál-



5. ábra. A LAGEOS-1, a geodéziai-geodinamikai célú műholdak egyik nevezetes képviselője. Gömb alakú, átmérője 60 cm, tömege 407 kg. Pályája kör alakú, magassága a földfelszín felett 5900 km, az Egyenlítő síkjához viszonyított pályahajlása 110 fok.

Felületét 3,8 cm átmérőjű 426 fényvisszaverő prizma (lézertükrök) borítja, melyek sajátossága, hogy a rájuk eső fényt a beérkezés irányába csaknem veszteség nélkül verik vissza. A LAGEOS-1 mesterséges holdat 1976. május 4-én bocsátották fel, élettartamát mintegy 8 000 000 évre (!) becsülik

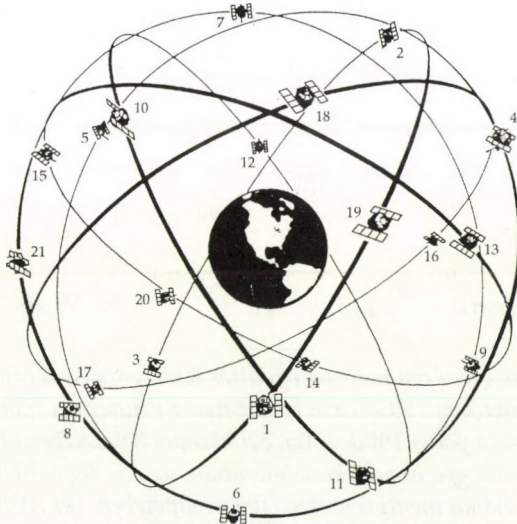


6. ábra. (a) Az Apollo-15 leszállási helyén elhelyezett lézertükrök távlati képe. (b) A Hold felszínén levő lézertükrök és a differenciális-VLBI-mérések céljára alkalmas ún. ALSEP-adók elhelyezkedésének vázlatos rajza. (c) A földi LLR-állomás és a Holdon lévő lézertükrök között az egy nap folyamán mért különböző távolságok közül egy értéket – a minimális távolságot (D_m) és a hozzá tartozó időpontot (t_m) használják fel. Minimális távolság egy földi állomásról akkor mérhető, amikor az éppen áthalad a Föld forgástengelye és a lézertükrök által meghatározott síkon. Mivel a lézer nem folyamatosan mér, általában nem „kapja el” az áthaladás időpontját. Ezért a legjobb megközelítés időpontja előtt és utána is (általában 3 vagy 4 órával) végeznek egy kb. 30-40 perces mérési sorozatot, amely alapján már meghatározható a legjobb megközelítés időpontja és a minimális távolság

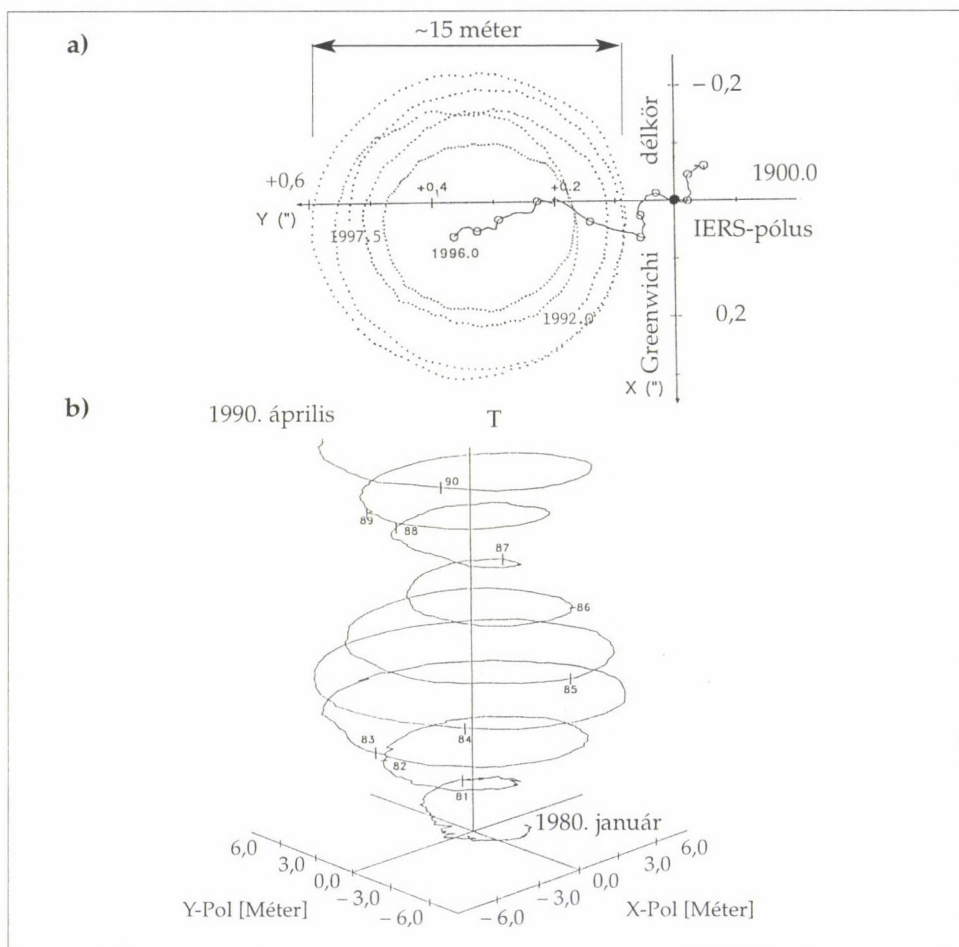
hatók még lézertükrök. Négyet közülük jelenleg is használnak, amelyek a Hold felszínén mintegy 1000 km-re helyezkednek el egymástól (6b ábra). Az 1969 szeptembere és 1996 márciusa között elvégzett számos távolságmérésből a következő négy földi LLR-állomásra (1. ábra) vonatkozóan 10 828 távolságadatot (6c ábra) hasznosítottak geodéziai és geodinamikai célból: 1) McDonald (Texas, USA), 2) Haleakala (Hawaii, USA), 3) Cote d’Azur (Grasse, Franciaország) és 4) Wettzell (Németország). Az LLR-méréseknek alapvető szerepük van többek között a Föld forgástengelye térbeli irányának és forgási szögsebessége egyenletlenségeinek

meghatározásában, valamint a Naprendszer dinamikai koordináta-rendszerének a kvazárokhoz kötött koordináta-rendszerhez (ICRF) való kapcsolásában [9, 11].

d) A mesterséges holdak *globális helymeghatározó rendszere* (GPS) (7. ábra), melyet eredetileg katonai navigációs célokra fejlesztettek ki az USA-ban, és már kezdettől fogva polgári felhasználásra is hozzáférhetővé tették bizonyos korlátozásokkal, napjainkban egyre inkább az egyik legfontosabb geodéziai-geodinamikai mérőrendszerre válik az egész világon, így hazánkban is. Bár a műholdas rendszer teljes kiépítését csak 1994-ben fejezték be, geodéziai célú alkalmazását már az 1980-as évek elejétől elkezdték. A rendszer háromdimenziós helymeghatározásra, sebességmérésre és időmeghatározásra szolgál a Föld felszínén és a levegőben, bármilyen év- és napszakban, minden időjárási körülmény között. A rendszer vevőberendezéseit mind álló, mind pedig mozgó objektumok (földi, légi, űr- és vízi járművek) helyzetének meghatározására lehet alkalmazni. A mérés az ún. egyutas távolságmérés elvén alapszik, amelynél a műhold által kibocsátott jelet a földi GPS-vevőberendezés veszi, és kódolás alapján megállapítja a jel futási idejét. Ebből a jel terjedési sebességének ismerete alapján a műhold és a vevőkészülék közötti távolság számítható mint mérési adat. Mivel az egyes GPS-holdak helyzete földi követőállomások mérései alapján folyamatosan is-



7. ábra. A GPS-rendszert 21 aktív és 3 tartalék műhold alkotja, 6, egyenletesen elosztott pályasíkbán. Ezek a mesterséges holdak a Föld felszíne felett 20 200 km magas, az Egyenlítővel 55 fokos szöget bezáró pályájukon 12 óra alatt kerülnek meg a Földet. Az elrendezésnek köszönhetően a Föld bármely pontjáról egyszerre legalább négy GPS-hold tartózkodik a horizont felett. A műholdak időjeleket, saját pályadataikat és egyéb kiegészítő információkat sugároznak folyamatosan két hordozófrekvencián. (A GPS-rendszerhez nagyon hasonló műholdrendszert működtet Oroszország is, GLONASS néven)



8. ábra. (a) A kozmikus geodéziai mérések együttes feldolgozásával ötnapos átlagértékek alapján az IERS keretében 1993–1996 között nyert póluspálya (pontosított görbe). Az IERS-kezdőpontban (a pólus 1900–1905. évi közepes helyzetében) felvett koordináta-rendszerben az x érték a greenwichi kezdőmeridián, az y pedig a 90 fok (nyugat felé) hosszúságú meridián menti összetevő fomásodpercben. (b) Attól függően, hogy a pólusmozgás 365 napos és 430 napos periódusú (Chandler-ingadozás) összetevői azonos fázisban vannak-e vagy sem, az ingadozás teljes ciklusa egy kifelé és egy befelé haladó spirálból áll, és 6,5–7 évig tart. Az ingadozáson kívül a pólus hosszú időtartamú szekuláris elmozdulást is mutat [folytonos vonal az (a) ábrán].

A századfordulón az ingadozás középpontja az ábra (x,y) koordináta-rendszerének kezdőpontjában volt, azóta a pólus vándorlása folytatódott, s a kozmikus geodéziai mérések eredményei alapján évente átlagosan 3,7 ezred fomásodperces sebességgel mozdult el a 45 fokos nyugati hosszúság irányába.

(Egy ezred fomásodperc a Föld felszínén kb. 3 cm-nek felel meg)

mert, legalább három műholdra vonatkozó mérés alapján a földi pontok ismeretlen helye meghatározható. Amennyiben egyidejűleg két ismeretlen ponton végzünk mérést, a pontok relatív helyzete igen gyorsan nagyon nagy pontossággal állapítható meg (az ún. differenciális GPS = DGPS-technika alapján).

Tekintettel arra, hogy a GPS-technika a nagyszerű képességei, gazdasági előnyei és a vevőberendezéshez könnyű hozzáférhetőség miatt a geodéták és a geofizikusok uralkodó helymeghatározó technikájává válik az egész világon, így már az 1990-es évek elején felvetődött olyan igény, hogy – elsősorban a geodinamikai kutatásokat és az egész Földre vonatkozó geodéziai alkalmazásokat figyelembe véve – a kapcsolódó tevékenységeket nemzetközi szinten koordinálják és bizonyos szabványok szerint egységesítsék és irányítsák. Ezért a GPS-technikának a geodézia és a földtudományok területén történő hosszú időtartamú alkalmazásának elősegítése céljából az IAG létrehozta a *Nemzetközi GPS Geodinamikai Szolgálatot* (International GPS Service for Geodynamics = IGS), amely 1994. január 1-jével kezdte meg szolgáltatási tevékenységét. Az IGS jelenleg mintegy 70 globálisan eloszló, folyamatosan üzemelő (ún. permanens vagy aktív) GPS-követőállomás mérésein, valamint adatgyűjtő, -elemző és -kiértékelő központok tevékenységén alapszik. Ehhez a tevékenységhez nemzetközi szinten több mint 50 intézmény és szervezet járul hozzá. Az IGS fontos adatszolgáltatást nyújt, amelyek az összes GPS-felhasználó számára hozzáférhetőek (természetesen a megfelelő infrastruktúra kiépítése után). A szolgáltatások az alábbiakat foglalják magukban [15]: 1) az összes GPS mesterséges holdra nagy pontosságú pályaadatokat (becsült pontosságuk jobb, mint 20 cm); 2) földforgási paramétereket, amelyek (x,y) póluskoordinátákat (8. ábra) és az (UT1-UTC) időadatokat tartalmazza, valamint 3) további fontos mérési adatokat. Ezen túlmenően az IGS az IERS-szel együttműködve hozzájárul a követőállomásoknak az ITRF-re vonatkozó geocentrikus koordinátáinak nagy pontosságú meghatározásához (1. ábra). Megjegyezzük, hogy az IGS munkájában Magyarországról a Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI) Penc közység határában működő Koszmikus Geodéziai Observatóriuma (KGO) vesz részt, ahol 1996 márciusa óta üzemel permanens GPS-állomás PENC néven.

A GPS-technika jelenleg az egyetlen műholdas eljárás, amely képes az ITRF állomáshálózatának (1. ábra) megfelelő sűrítésére, abból a célból, hogy az ITRF-et egységes vonatkozási rendszerként használhassa a világ valamennyi országa földmérési munkálataiban, valamint lehetővé váljék a Föld felszínén valamennyi regionális és lokális geodinamikai feladat elvégzése. Hosszú távon szolgálatszerűen biztosítani tudja a földforgási paramétereknek néhány óránkénti meghatározását is.

e) A Franciaországban kifejlesztett, szintén betűszó alapján elnevezett DORIS rendszer a Doppler-elfelvén alapuló egyutas mérési módszert alkalmazza. A műholdon elhelyezett mérőegység földi adóállomások 2 GHz-es frekvenciájának ún. Doppler-frekvencia-eltolódását méri az áthaladás idején, mintegy 0,3 mm/s pontossággal. A mérési adatokat a műhold fedélzetén tárolják mindaddig, amíg a követőállomás körzetében továbbítani tudják a Földre. A Föld felszínén geomet-

riailag egyenletesen jól eloszló, jelenleg 51 állomásból (jeladóból) álló hálózat (1. ábra) [9, 11] adatai alapján a mesterséges hold pályáját mintegy 10 cm-es pontossággal tudják meghatározni. A DORIS rendszert több műholdon is sikerrel használják, így a Spot-2 és -3 francia távérzékelési műholdakon és a TOPEX/Poseidon nevű geodinamikai-oceanográfiai mesterséges holdon, továbbá a közeli jövőben a Spot-4 (1998), az Envi Sat (1999), a TPFO (1999) és a Spot-5 (2001) műholdakon fogják használni.

Itt említjük meg azt, hogy szintén a Doppler-elven működött az amerikai haditengerészet navigációs műholdrendszere, az NNSS (Navy Navigation Satellite System) vagy Transit-holdak („Doppler-holdak”) rendszere is, amelyet 1967-ben polgári célokra is felszabadítottak. Az 1970-es években már kiterjedten alkalmazták a hagyományos geodéziai módszerekkel kifejlesztett háromszögelési hálózatok összekapcsolására, geodéziai vonatkozási rendszerek és a földi nehézségi erőter szerkezetének, valamint a földforgási paraméterek meghatározására. Az NNSS rendszer a 1990-es évek közepéig működött, Magyarországon a 1980-as években alkalmaztuk geodéziai alaphálózatunk továbbfejlesztésére [16].

Az ismertett kozmikus geodéziai rendszerekben a mérési alapelvek rendkívül egyszerűek, azonban a gyakorlati megvalósításuk nagyon összetett és nehéz. A szükséges technikai berendezések nem olcsók (a GPS vevőberendezéseket kivéve), ezért ezek létrehozását, telepítését és folyamatos üzemeltetését csak nagy úrkutatási szervezetek (pl. az amerikai NASA, az európai ESA, a francia CNES, a japán ISAS stb.) és ezek intézményei (pl. NASA/GSFC, JPL stb.) tudják anyagilag biztosítani [9, 17]. Viszont az igen nagy költségeket ellensúlyozza a kozmikus geodéziai módszerekkel elérhető információk tudományos jelentősége és az a tény, hogy ezen mérések biztosítására más módszerek képtelenek.

A Föld dinamikai folyamatainak megfigyelésével nyert fontosabb eredmények

Mivel a kozmikus geodéziai állomások (többnyire obszervatóriumok; 1. ábra) a földfelszínen üzemelnek, ezért a mérések alapján lehetőség van a Föld forgási sebességének, valamint a forgástengelye kvazárokhoz viszonyított térbeli irányának és a földtömeghez viszonyított ingadozásainak, továbbá az állomások helyzetének (illetve ezek változásának) folyamatos nyomon követésére. Amellett, hogy a forgás Földünk térbeli mozgásának fő jellegzetessége, pontos ismeretére szükség van a csillagászat, a geodézia, a navigáció és az úrkutatás területén. A Föld forgástengelyének a geodéziai helymeghatározásainkban tehát jelentős szerepe van. Mivel ezt fizikai értelemben a Föld forgássebesség-vektora (iránya és nagysága) képviseli, így geodéziai vonatkozási rendszerünk (ITRF) egyik alapelve. A Föld forgássebesség-vektorának mind az iránya, mind a nagysága különböző változásokat mutat, ami a Föld különböző részei közötti kölcsönhatásokra vezethető vissza.

1) A Föld forgástengelyének mozgása a kvazárokhoz rögzített koordináta-rendszerben (ICRF) a *precesszióval és a nutációval* írható le. A forgástengely térbeli helyzetének ezen változásait elsősorban a Holdnak és a Napnak a Föld egyenlítői tömegtöbbletére gyakorolt tömegvonzási hatása okozza. A földi Egyenlítő síkja 23,5 fokos szöget zár be az ekliptikával (a Föld Nap körüli keringési síkjával), s amikor a Hold és a Nap nem az Egyenlítő síkjában helyezkedik el, időben változó nagyságú forgatónyomatékokat gyakorolnak az egyenlítői tömegtöbbletre (kidudorodásra), mely azt be akarja forgatni az ekliptika síkjába. Ennek eredményeképpen a forgástengely precessziós forgást végez (egy teljes kör leírásához 25 600 évre van szükség). Ezen túl a precesszióra különböző eredetű ún. nutációk rakódnak, amelyek amplitúdója mintegy tízezerszer kisebb a precesszió amplitúdójánál (a legnagyobb 9,2 szögmásodperc). Periódusuk 4,7 nap és 18,6 év között van.

A Föld forgástengelyének precessziós és nutációs mozgása elméletileg jól kifejezhető és előre jelezhető, mivel az őket okozó tömegvonzási eredetű forgatónyomatékokat pontosan ismerjük. Mindkét mozgás nyomon követését az LLR- és a VLBI-technika rutinszerűen biztosítja. Hosszú időtartamra vonatkozó LLR- és VLBI-mérések alapján a leírásukra használt képletekben szereplő állandók számértékeinek pontossága több nagyságrenddel nőtt. Ennek eredményeként lehetővé vált a Föld belső szerkezetére vonatkozó modellek (ún. földmodellek) pontosítása. Így pl. a nutációk elméleti számítására az 1980-as évek elején a Nemzetközi Csillagászati Unió (IAU) által elfogadott *Wahr*-féle modelljében fedeztek föl a VLBI-mérések feldolgozása alapján kétezred ívmásodperces hibát, amely hiba a kutatók véleménye szerint azzal magyarázható a legjobban, hogy a Föld folyékony külső magja *Wahr* feltételezésénél kissé lapultabb. A több évtizedre vonatkozó LLR- és VLBI-méréssorozatok kiértékelésével elérhető a szóban forgó modellek finomítása, melynek révén a Föld magjáról és annak a köpennyel kapcsolatos kölcsönhatásairól kaphatók pontosabb ismeretek. Várható, hogy a nutációs sor együtthatóinak pontossága hamarosan 10 milliomod ívmásodperc lesz [18].

2) A precesszió és a nutáció kutatása mellett geodéziai szempontból jelentősebb az ún. *pólusmozgás* vizsgálata, mely a Föld tömegének a forgástengelyhez viszonyított elmozdulásait foglalja magában. Hatására folyamatosan változnak a földi pontoknak a forgástengelyhez viszonyított helyzetét kifejező földrajzi koordinátái. A köpeny és a kéreg forgástengely körüli ingadozásával együtt a pólus spirális pályán mozdul el a Föld szilárd felszínén (8. ábra). A pólusmozgás állandó, szolgáltatászerű megfigyelését és nyomon követését az IAG/IUGG keretében szervezett nemzetközi szolgálatok végezték. Ezt napjainkban az IERS végzi [9]. A hagyományos csillagászati módszerrel a pólus helyzeteit legjobb esetben is csak 1-2 méteres hibával lehetett meghatározni. Az IERS keretében jelenleg a pólus helyzetait bármely adott napon 2-3 tízezred ívmásodperces pontossággal határozzák meg, amely közel 1 cm-es hibának felel meg a Föld felszínén.

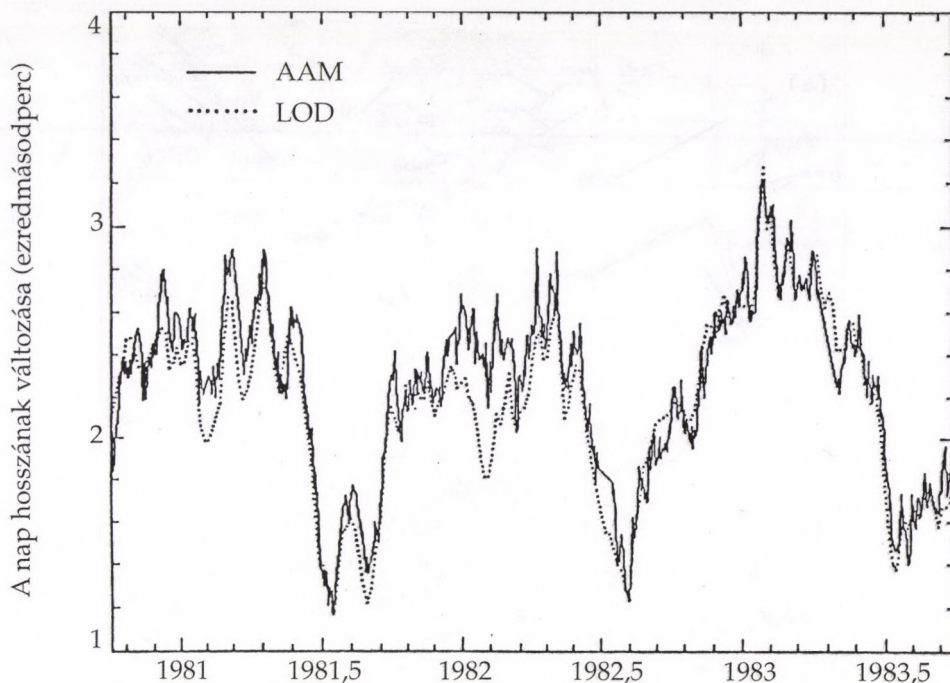
A pólusmozgásnak ilyen nagy pontossággal hosszú időtartamra történő nyomon követése alapján várhatóan pontosabb választ lehet adni arra az alapvető

kérdésre, hogy mi tartja fenn a pólusmozgást kiváltó folyamatot. Tisztázódhatnak olyan fontos kérdések, hogy milyen méretű pólusmozgást okozhatnak a földrengek (a földköpeny tömegeinek elmozdításával), a szilárd Föld és a tengeri árapály, a meteorológiai hatások, valamint a hó- és jégolvadás következtében a földfelszínen keletkező tömegátrendeződések. De szerepük lehet a folyamatban a szélrendszerek és az óceáni áramlások földrajzi eltérései okozta nagy víz- és légtömeg-átrendeződéseknek is. A Föld rugalmas tulajdonságaira és viszkozitására is lehet majd következtetni, továbbá a Föld belsejében zajló folyamatok is jobban megismerhetővé válnak (pl. folyadékszerű mozgások a külső földmagban, a mag és a köpeny közötti impulzusmomentum-átadás stb.).

3) Már a századunk elején kimutatták, hogy a Föld *tengelyforgási szögsebessége* sem állandó, az *is változásokat mutat*. A tengelyforgás értékében évszázados (szekuláris), évszakai és szabálytalan változásokat különböztetünk meg. Ezek részletes vizsgálatához az szükséges, hogy a Föld forgássebességét is minél nagyobb pontossággal, folyamatosan mérjük. Hagyományos csillagászati módszerrel ez kb. ötezred másodperces pontossággal volt lehetséges. A kozmikus geodéziai technikák együttes alkalmazásával jelenleg a forgási sebesség nagyságát, illetve a naphosszúság ($\text{length of day} = \text{LOD}$) értékeit 10–30 milliomod másodperc pontossággal tudják mérni, mely az Egyenlítő síkjában mintegy 1 cm-es hibának felel meg a Föld felszínén.

A forgássebességben mutatkozó változások részben árapály-eredetűek, tehát a Nap és a Hold által a Földre kifejtett tömegvonzás változásaival kapcsolatosak, amelyek jól előre jelezhetőek. A tengelyforgás szögsebességének vannak továbbá kevésbé pontosan előre jelezhető változásai is, amelyeket túlnyomórészt a Föld különböző részeinek impulzusmomentum-cseréi okozzák. A köpeny és a kéreg a légkörrel, az óceánokkal vagy a Föld magjával cserélhetnek impulzusmomentumot. Ezek vizsgálata szempontjából az LLR-, SLR- és a VLBI-méréseknek és legújabban a GPS-technikának napjainkban különösen fontos szerepük van. Így pl. már az 1980-as évek elején kimutatták, hogy a szögsebesség évszakai, nem árapály-eredetű változásainak több mint 90%-át a szilárd Föld és a légkör impulzusmomentum-átadása okozza (9. ábra) [5, 18], a kelet–nyugati szélrendszer átalakulásainak következtében. A VLBI-mérésekkel azt is igazolták már, hogy az évszakovnál rövidebb, néhány napos vagy néhány hetes periódusú, nem árapály-eredetű forgásváltozások is valóban léteznek.

Itt említjük meg azt, hogy a Holdra vonatkozó LLR-mérésekből a Hold Föld körüli keringése sebességének csökkenését is meghatározták. A Hold pálya menti szögsebessége csökkenésének közepes mértékére $24,9 \text{ ívmásodperc/évszázad}^2$ (egy ívmásodperc/évszázad² pontosságú) értékre becsülik [18], amely a Föld–Hold távolságban $3,7 \text{ cm/év}$ ($0,2 \text{ cm/év}$ pontosságú) növekedésnek felel meg. A LAGEOS-1 és más lézeres műholdakra vonatkozó SLR-mérések feldolgozásából pedig a Hold földárapályból adódó keringési lassulására $25,3 \text{ ívmásodperc/évszázad}^2$ ($0,6 \text{ ívmásodperc/évszázad}^2$) értéket kaptak. A LAGEOS műholdakra és a Holdra vonatkozó megfelelő adatokat összehasonlítva remélhetőleg ki fog majd derülni, vajon van-e a Hold pálya menti lassulásának nem föld-

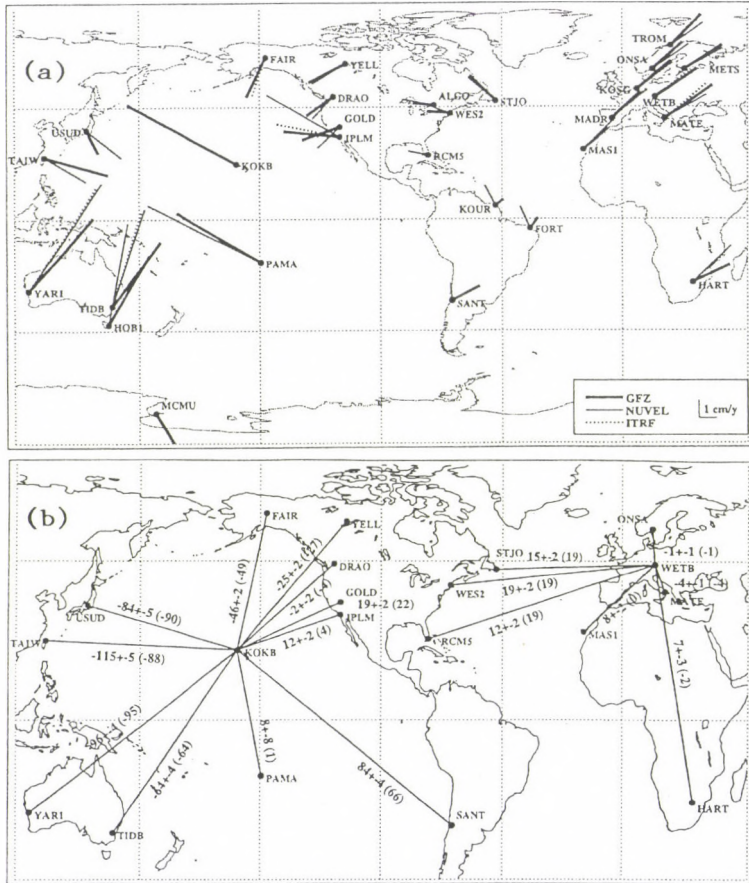


9. ábra. A nap hosszának (LOD) az SLR-mérések alapján megállapított változása (1981 októbere és 1983 októbere között) szoros összhangban van a légkör impulzusmomentum- (atmospheric angular momentum = AAM) változásaival.

Ez arra utal, hogy a légkörnek jelentős hatása van a Föld forgására. Jól látható az ábrán, hogy a napok hossza évszakosan változik: a napok télen néhány ezredmásodperccel hosszabbak, mint nyáron. A nap hosszában 1983 januárjában és februárjában mutatkozó csúcs az ún. El Niño elnevezésű éghajlati jelenség akkori bekövetkeztével kapcsolatos. Ekkor a légkör impulzusmomentuma szélsőségesen nagy volt, s mivel a légkörnek a földkéreg adta át ezt az impulzusmomentum-többletet, a Föld forgása lelassult (a kelet–nyugati szelek megerősödtek), ami a napok hosszát csaknem 3 ezred másodperccel megnövelte

árapály-eredetű összetevője. Ezek az adatok aztán összevethetők a földárapály-surlódás és a földmag-köpeny közötti surlódás okozta Hold-fékeződés becsült értékeivel, összhangban az ún. holdi libráció észlelt jelenségével.

4) A Föld belső szerkezetével ellentétben részletes ismeretekkel rendelkezünk a Föld felszínéről és a kéreglemezekről, amelyek mozgása meghatározza a felszíni alakzatokat. A kéreglemezek egymáshoz viszonyított mozgása cm/év nagyságrendű, s ezt általában cm-es pontossággal ismerjük a nagy léptékű lemezmozgások leírására az elmúlt évtizedek folyamán a geofizikusok kidolgozott modellek alapján [19]. A lemezmozgások jellemzésére a legújabb, az elmúlt 2-3 millió év átlagos lemezsebességeit tartalmazó geofizikai modell az NNR-NUVEL1A elnevezésű (Charles DeMets és munkatársai dolgozták ki a

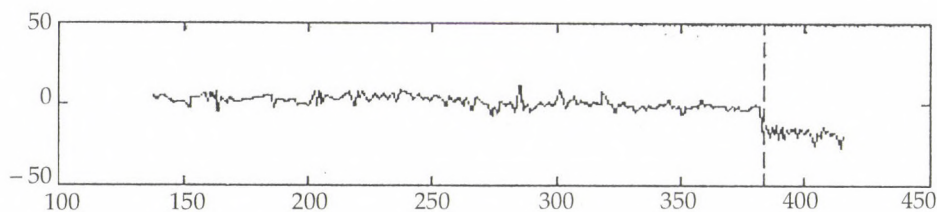


10. ábra. (a) A Nemzetközi GPS Geodinamikai Szolgálat (IGS) munkájában részt vevő néhány állomás mozgásának sebességvektora a Föld felszínén cm/év egységben a potsdami Földtudományi Kutatóközpont (GFZ, Németország) számításai alapján 1994–1995 között végzett GPS-mérésekből. Jól látható az ábrán, hogy az Eurázsiai-kéreglemez észak-keleti irányban mozog mintegy 3 cm/év sebességgel, amelyet a NUVEL elnevezésű geofizikai modell és a kozmikus geodéziai technikák együttes mérései (ITRF) is megerősítenek. (b) A wettzelli (WETB, Németország), valamint a kokee-parki (KOKB, Hawaii, USA) állomások és a velük szomszédos IGS-állomások közötti térbeli távolságok (esetenként több ezer km hosszúak) változásának mértéke és ennek pontossága mm/év egységben feltüntetve. Zárójelben a kozmikus geodéziai technikák méréseinek együttes feldolgozásából (ITRF) meghatározott megfelelő értéket találjuk. Így pl. a WETB–WES2 távolság nő 19 mm/év sebességgel (pontossága 2 mm/év), és ezt a kozmikus geodéziai technikák együttes mérései is megerősítik. A KOKB–TAIW távolság hossza pedig rövidül 115 mm/év mértékben (5 mm/év pontossággal)

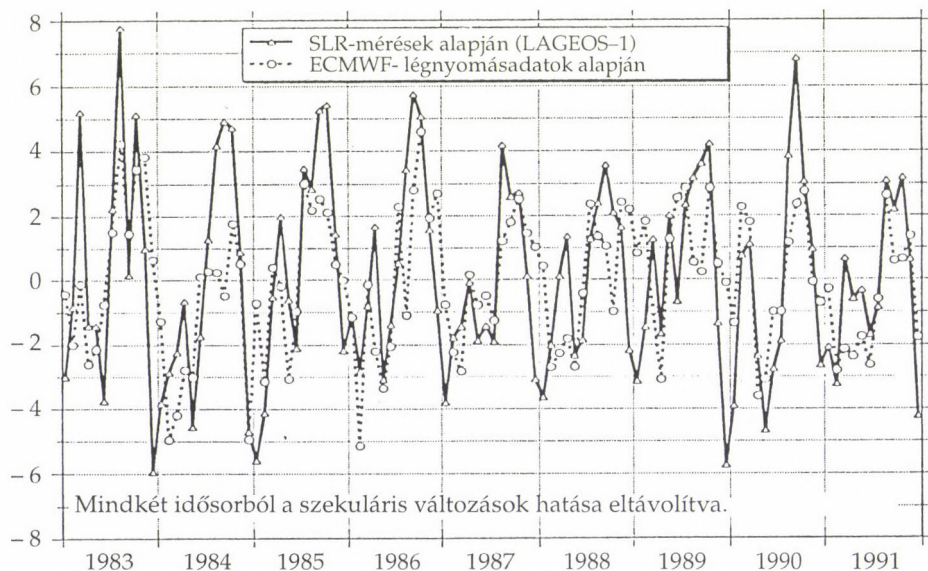
Northwestern Egyetemen), melyet az IERS és az IGS keretében jelenleg használnak a kozmikus geodéziai mérések alapján nyert megfelelő eredményekkel történő összehasonlításhoz.

Ha a kéreglemezek egymáshoz viszonyított mozgását és a lemezen belüli kéregdeformációt is vizsgálni kívánjuk, akkor ehhez a litoszféra-lemezeken számos működő földi állomásra van szükségünk. Erre a célra a 1970-es és a 1980-as években az SLR-, LLR- és a VLBI- (valamint részben a Doppler-) technika szolgált alapul, azonban az 1990-es évek elejétől – a részben a felsoroltakon alapuló módszer – a GPS-technika a meghatározó. E vonatkozásban is különösen fontosak az IGS keretében üzemelő permanens GPS-állomások folyamatos mérései. A 10a és b ábrán [15] néhány IGS-állomás folyamatos méréseiből meghatározott vonatkozó eredményeket mutatunk be. Mindkét ábra jól egyezően alátámasztja azt, hogy az Észak-amerikai- és az Eurázsiai-kéreglemezek egymástól távolodnak, a Csendes-óceáni- és az Eurázsiai-lemezek pedig egymáshoz közelednek. A szóban forgó ábrák azért is figyelemre méltóak, mert a két év GPS-méréseiből nyert mozgásvektorok nagyságra és irányra is meglepően jól egyeznek a több millió évre vonatkozó geofizikai és geológiai adatok felhasználásával megalkotott NUVEL-modell alapján számított megfelelő mozgásvektorokkal. Ez azt jelenti, hogy a Föld felszínét alkotó kéreglemezeket a földköpeny konvektív áramlása állandó sebességgel mozgatja. A GPS-mérésekből nyert sebességek nagy pontossággal egyeznek még éves időszakokra vonatkozóan is (amennyiben az egyes lemezeket merevnek tételezik fel).

Geodinamikai vizsgálatok céljából az IGS-hálózat sűrítéseképpen létrejövő kontinentális, regionális és helyi permanens GPS-állomáshálózatok gomba módra szaporodnak, amelyeket elsősorban szeizmikusan aktív térségekben telepítenek (Japán, Kalifornia stb.). Így pl. Japánban már 900 állandóan működő GPS-állomásból álló hálózat üzemel a geotektonika és a földrengés-előrejelzést célzó kutatások számára. A már meglévő GPS-állomáshálózat folyamatos méréseinek eredményei alapján a legutóbbi japán földrengés során volt olyan álláspont a lemezhatár közelében, amelyen 44 cm ponteltmozdulást tapasztaltak a földrengés előtti és utáni helyzetre vonatkozóan. Dél-Kaliforniában a Szent Andrástörésvonal mentén évek óta folyamatosan üzemelő, 25 pontból álló GPS-hálózat (Permanent GPS Geodetic Array = PGGA) méréseiből nyert vízszintes értelmű koordináták pontossága néhány mm, a magassági koordinátáké is 1 cm körül van. Egyébként a PGGA az első olyan permanens GPS-állomáshálózat, amely már egy földrengést „észlelt” (az 1994. januárjában kipattant 6,7 erősségű northridge-i földrengést) (11. ábra) [20]. Ennek a témakörnek a kiemelt kutatása azért rendkívül fontos, mert a nagyobb földrengéseket az adott térségben általában több éven át tartó maradandó deformáció követi. A földrengések utáni deformáció tanulmányozásával lehetőségünk van a földkéreg és a földköpeny viszkozus tulajdonságainak meghatározására. Éppen ezért fontos lesz a Föld nagyobb szeizmikus térségeiben az időtől függő deformáció mérése. Ez szintén kérdéseket vet fel a földköpeny hőáramlása és a földkéreg deformációja közötti kapcsolatra, valamint a feszültség és a terhelés törési zónán keresztüli eloszlására.



11. ábra. A Dél-Kaliforniában folyamatosan üzemelő GPS-állomáshálózat (PGGA) 55 km-re levő két pontja (Palos Verdes és Pasadena) közötti távolság változásai 1993 folyamán és 1994 elején. Az 1994 januárjában Northridge-ben kipattant földrengés előtt a távolság csökkenése 8 mm/év mértékű volt, a földrengéskor a görbében mintegy 1 cm-es esés következett be. (A függőleges tengelyen a távolság változását tüntettük fel mm egységben, a vízszintes tengely pedig a napok számát mutatja 1993-ban és 1994 elején)



12. ábra. A földi nehézségi erőter potenciáljának gömbfüggvény-sorában szereplő J_2 (a Föld lapultságára jellemző) együttható időbeli változása 1983 és 1991 között. A vastag folytonos vonal a LAGEOS-1 műhold pálya-perturbációinak SLR-mérések segítségével történt megfigyelési adatai alapján nyert értékeket, a pontozott vonal pedig az Európai Középtávú Időjárás-előrejelző Központ (European Center for Medium Range Weather Forecasts = ECMWF) légkörlégnyomás-adatainak segítségével nyert megfelelő értékeket ábrázolja. A J_2 időbeli változására a légköri adatokból nyert értékeket, amelyek a légköri tömegátrendeződésekre jellemzőek, az ECMWF-ben valódi meteorológiai adatok segítségével szerkesztett globálisatmoszféra-modellből képzett földfelszínlégnyomás-értékek alapján számították

ra vonatkozóan a litosféra-lemez típusának függvényében (kontinentális vagy óceáni lemez) [17]. A deformáció mérése a táblák határán hozzájárulhat a földrengések előrejelzéséhez is. A táblaszegélyek menti térség deformációmérései fényt deríthetnek azokra a kérdésekre is, amelyek a szigetek kialakulásával, a hegyképződés dinamikájával és a kontinentális kéreg időbeli növekedésével kapcsolatosak [17, 21, 22].

5) A Föld egészében (a földfelszínen és a földbelsőben, valamint az atmoszférában) lejátszódó folytonos tömegátrendeződések miatt *időben változik a földi nehézségi erőter szerkezete* és ennek következtében a Föld körül keringő mesterséges holdak pályája is. Az SLR-mérések alapján lehetőség van a lézeres műholdak pályaváltozásainak nagy pontosságú meghatározására. A nehézségi erőter igen összetett és kevésbé előre jelezhető, nem árapály-eredetű időbeli változásainak vizsgálata jelenleg két területen folyik: 1) a nehézségi erőter hosszú hullámú változásainak meghatározása a Föld körül alacsony pályán keringő műholdak pályaváltozásainak megfigyelése alapján és 2) a nehézségi erőter időbeli változásának számítása geofizikai, légköri és óceáni modellek alapján. Mindkét eljárást sikerrel alkalmazzák a nem gravitációs eredetű változások meghatározásában. Így a LAGEOS-1 mesterséges holdra az elmúlt 20 évben végzett SLR-mérések segítségével meghatározták a nehézségi erőter potenciáljának gömbfüggvény-sorában szereplő J_2 együttható időbeli változását a szóban forgó műhold pályája felszálló csomósögének (Ω) időbeli változásaira vonatkozó mérésekből.

A nehézségi erőternek a légköri tömegek átrendeződésével járó időbeli változásai számíthatók a globális atmosféra-modellekből nyert légnyomásértékek elemzése alapján is. A 12. ábrán szemléltetett összehasonlítás eredménye szerint a J_2 -ben mutatkozó időbeli változás nagy része leginkább a légköri tömegek átrendeződésével magyarázható [23].

A közeljövő fontosabb geodéziai-geodinamikai űrprogramjai

Az elmúlt három évtized folyamán végzett LLR-, SLR- és VLBI-, valamint legújabban a GPS- és DORIS-mérések hasznosításával a geodézia, a geofizika és a geodinamika területén lényeges előrelépés történt. A földforgás szabálytalanságainak folyamatos és egyre pontosabb nyomon követése a felsorolt űrtechnikák segítségével folytatódni fog az elkövetkező években (évtizedekben) is. A *földforgás összetevőire vonatkozó több évtizedes adatsoroknak a földrengések, a szélrendszerek és más, szóba jöhető mechanizmusok megfelelő idősoraival történő összehasonlítása, az óriási adatmennyiség elemzése minden bizonnyal tovább növeli meglévő ismereteinket*. Mindegyik mérési technika a Föld tájékozását határozza meg azokhoz a természetes és/vagy mesterséges objektumokhoz viszonyítva, melyeket követnek a csillagos háttérben, és mindemellett ezen objektumok helyzeti adatait is szolgáltatják.

Figyelmet érdemel a NASA „Szilárd Föld Dinamikája” (Dynamics of the Solid Earth = DOSE) elnevezésű tudományos programja, mely azt tűzi ki célul, hogy a NASA korábbi tudományos programjai keretében nyert eredményekre támasz-

kodva [17, 21, 22], folytatja tovább a geodinamikai kutatásokat olyan területeken, mint a kéreglemezek parti zónáinak deformációja, a vulkánok dinamikája, a jégkorszak utáni kontinens-kiemelkedés és a Föld forgása elemeiben a nagyon rövid időtartamú változások kimutatása. Ehhez az egész Földre kiterjedően geodéziai-geodinamikai hálózatot kívánnak létrehozni a különböző globális és regionális méretű folyamatok nyomon követésére, együttesen alkalmazva a VLBI, az SLR, a GPS és más geodéziai mérőtechnikákat, amelyeket más geofizikai követőműszerekkel együtt alkalmas helyre fognak telepíteni. Ebből a célból a NASA ún. fundamentális állomások hálózatának kiépítését vette tervbe komplex geodéziai-geodinamikai és geofizikai kutatások céljára, melyet jelenleg az IUGG keretei között egyeztetnek [24]. Továbbá igen fontos a regionális és helyi (lokális) geodéziai-geodinamikai hálózatok létrehozása [25] a GPS-technika felhasználásával az előbbiekben felsoroltakon túl a táblamozgás, a tektonikus deformáció és a föld-rengési folyamatok tanulmányozása céljából.

Igen biztatóak a még fejlesztés alatt álló, ún. *űrfedélzeti GPS* (spaceborne GPS = a mesterséges holdak fedélzetén elhelyezett GPS-vevőberendezés mérésein alapuló) technika alkalmazási lehetőségei a földtudományok területén. Az első figyelemre méltó eredmények a cm-es pontosságú műholdpálya-meghatározás, a nehézségi erőter kutatása és a földi atmoszféra szondázása területén születtek. Az űrfedélzeti GPS-technika meteorológiai célokra történő hasznosítására az amerikai GPS/MET elnevezésű projekt keretében LEO (Low Earth Orbiting) jelű műholdat bocsátanak fel 750 km földfelszín feletti magasságba, melynek fedélzetén GPS-vevőberendezést helyeznek el. Ez a műszer az „atmoszferikus érzékelő” szerepét tölti be. A tervek szerint az űrkísérlet méréseiből nyert adatok közvetlenül integrálhatók lesznek az időjárás-előrejelző és globális éghajlatváltozási modellekben [26].

A geodézia a sajátos űrtechnikai mérési eszközeivel és módszereivel egyre inkább növeli hasznosságát a föld- és környezettudomány többi területein, és arra kényszeríti a kutatókat, hogy interdiszciplináris szinten szorosan együttműködjenek a globális környezeti feladatok megoldásában. Erre jó példa a Nemzetközi Geodéziai és Geofizikai Uniót (International Union of Geodesy and Geophysics = IUGG) alkotó hét nemzetközi szövetség szakembereinek együttműködése a *geodézia* (IAG = Nemzetközi Geodéziai Szövetség), a *fizikai oceanográfia* (IAPSO = Nemzetközi Óceánfizikai Szövetség), a *hidrológia* (IAHS = Nemzetközi Hidrológiai Szövetség), a *mágnességtan* és a *földi elektromosságtan* (IAGA = Nemzetközi Földmágnességi és Aeronómiai Szövetség), a *meteorológia* (IAMAS = Nemzetközi Meteorológiai és Légkörtudományi Szövetség), a *szeizmológia* és a *földbelső fizikája* (IASPEI = Nemzetközi Szeizmológiai és Földbelső-fizikai Szövetség), a *vulkanológia* és a *geokémia* (IAVCEI = Nemzetközi Vulkanológiai és Geokémiai Szövetség) területein [2].

(Megjegyzés: A jelen előadás anyaga a szerző korábbi tanulmányának [28] kiegészítésén alapul.)

Irodalom

1. Biró P.: A felszínmozgások vizsgálata és a Föld dinamikai folyamatai. *Geodézia és Kartográfia*, 29 (1977) 1(9–18).
2. Biró P.: *A nehézségi erőter időbeli változásának geodéziai hatása*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1988.
3. Bilham, R.: Earthquakes and Sea level – Space and Terrestrial Metrology on a Changing Planet. *Reviews of Geophysics*, Vol. 29, No. 1, pp. 1–29, February 1991.
4. Cenci, A.–Fermi, M.: Space Techniques for Geodesy and Geodynamics. *Journal of The British Interplanetary Society*, 44 (1991) 421–430.
5. Mueller, I. I.–Zerbini, S. (Editors): *The Interdisciplinary Role of Space Geodesy*. Springer Verlag, Berlin–Heidelberg, 1989.
6. Special Issue on Satellite Geodynamics. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. GE-23, No. 4, pp. 357–473, July 1985.
7. Ádám J.: A belső bolygók alakjára és nehézségi erőterére vonatkozó úrkutatási eredmények. *Csillagászati évkönyv* 1978, 173–204. Gondolat Kiadó, Budapest, 1977.
8. Ádám J.: A Hold lézeres és VLBI-megfigyelése. *Csillagászati évkönyv* 1980, 132–152. Gondolat Kiadó, Budapest, 1979.
9. *IERS Annual Report for 1995*. Central Bureau of IERS – Observatoire de Paris, Paris, France, July 1996.
10. Boucher, C.–Altamimi, Z.–Feissel, M.–Sillard, P.: Results and Analysis of the ITRF94. *IERS Technical Note 20*, Observatoire de Paris, March, 1996.
11. CSTG Bulletin on the „Status and Programme 1995-1999” of the International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics (CSTG), No. 12, p. 105, Munich, 1996.
12. Fejes, I.–Almár, I.–Ádám, J.–Mihály, Sz.: Space-VLBI: Potential applications in Geodynamics. *Adv. Space Res.*, Vol. 6, 9 (1986) 205–209.
13. Ádám J.: Estimability of Geodetic Parameters from Space VLBI Observables. *Report No. 406*, Dept. of Geod.Sci and Surveying, The Ohio State Univ., Columbus, Ohio, USA, July 1990.
14. Cohen, S. C.–King, R. W.–Kolenkiewicz, R.–Rosen, R. D.–Schutz, B. E.: LAGEOS Scientific Results. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, No. B11, pp. 9215–9438, September 30, 1985.
15. *IGS Annual Report for 1995*. IGS Central Bureau, JPL/CalTech, Pasadena, California, USA, September 1996.
16. Ádám J.: A műholdas Doppler-technika szerepe geodéziai alaphálózatunk továbbfejlesztésében. *Geodézia és Kartográfia*, 39 (1987), 3(174–183).
17. *NASA Geodynamics Program Summary Report for 1979–1987: Progress and Future Outlook*. NASA Technical Memorandum 4065, Washington, D. C., 1988.
18. Carter, W. E.–Robertson, D. S.: A Föld vizsgálata nagyon hosszú bázisvonalú interferometriával. *Tudomány*, 1 (1987) 24–33.
19. Jordan, Th. H.–Minster, J. B.: Kéregdeformációk Észak-Amerika nyugati részén. *Tudomány*, 10 (1988) 30–38.
20. Brunner, F. K.: Continuous Monitoring of Deformations using the Global Positioning System. *AvH-Magazin*, Nr. 69 (juli 1997) 29–38.
21. Mueller, I. I.: Mesterséges holdak a geodézia és a geodinamika szolgálatában – kilátás a jövőre. *Geodézia és Kartográfia*, 42 (1990) 5 (321–325).
22. Mueller, I. I.: A földbolygó kutatása geofizikai és geodéziai tudományos programok keretében. *Geodézia és Kartográfia*, 45 (1993) 1 (9–14).
23. Degnan, J. J. (Editor): *Satellite Laser Ranging in the 1990s* – Report of the 1994 Belmont Workshop. NASA Conference Publication 3283, NASA/GSFC, 1994.
24. Mueller, I. I.–Montag, H.–Reigber, Ch.–Wilson, P.: An IUGG Network of Fundamental Geodynamic Reference and Calibration Stations – Rationale and Recommendations. *IAG/CSTG Bulletin*, No. 12, 75–94, Munich, 1996.
25. Greneczy, Gy. –Kenyeres, A. – Fejes, I.: Present Crustal Movement and Strain Distribution in Central Europe Inferred from GPS Measurement. (Submitted for *Journal of Geophysical Research*, 1998.)
26. Ádám J.–Joó I.–Varga P.: Az IUGG XXI. közgyűlésének főbb geodéziai eredményei. *Geodézia és Kartográfia*, 48 (1996) 1(12–19).

27. Ádám J.: IUGG – a nemzetközi együttműködés háromnegyed évszázada a geodézia és a geofizika területén. *Magyar Tudomány*, 1995/10.
28. Ádám J.: A Föld dinamikai folyamatainak nyomon követése kozmikus geodéziai módszerekkel. *Magyar Tudomány*, 10 (1970)

Az élővilág fejlődésének nagy eseménye: a levegő meghódítása

A bioszféra történetének egyik legérdekesebb és legvitatottabb fejezete a levegő meghódítása volt. Ennek előfeltétele az őslégkört felváltó másodlagos légkör kialakulása volt magasabb oxigéntartalommal, az ózonernyő kifejlődésével és a szén-dioxid-mennyiség csökkenésével. A másodlagos légkört a fotoszintézist végző sejtmagos tengeri szervezetek gyors fejlődése hozta létre.

A másodlagos légkör a már szárazföldi növényzettel borított területek állatvilága számára nagy kihívást jelentett. A levegőben ugyanis az elterjedésnek nincsenek olyan földrajzi akadályai (pl. magashegység, sivatag, őserdő stb.), mint a szárazföldek területén.

Ezek után meglepő, hogy milyen kevés – magasabb kategóriába tartozó – csoport élt ezzel a lehetőséggel. A zoológusok az állatvilágot mintegy 35 törzsbe sorolják. Valamennyi törzs ősei eredetileg a tengerben éltek. Számos törzsnek sikerült a szárazföldi feltételekhez alkalmazkodni. A 35 törzsből azonban csak 2 törzs (Arthropoda, Vertebrata) különböző kategóriába tartozó, jól elhatárolt csoportja hódította meg a levegőt. Az ízeltlábúak törzséből idetartozik a rovarok (Insecta) osztálya, a gerincesek közül pedig a hüllők közé sorolt repülő őshüllők (Pterosauria) alosztálya, valamint a madarak (Aves) osztálya, továbbá az emlősök köréből a denevérek rendje (Chiroptera). Valamennyi aktívan repülni tudó csoportnak voltak korábban kialakult „preadaptív” bélyegei, amelyek egyrészt előnyösek voltak a szárazföldi élet számára, másrészt funkcióváltással alkalmasak voltak a korábban kihasználatlan élethelyek betöltésére.

A rovarok esetében a repülést két preadaptív bélyeg segíti elő: a kitinváz és a légcsőrendszer. A kitin anyaga jellegzetes vázpoliszaharid, amely könnyűségével és rugalmasságával védi az állatot a víztől és a kiszáradástól. A légcsőrendszer (trachea) a külső csíralemez csőszerű betüremkedése, és a levegőt közvetlenül a szervekhez (majdnem az adott sejthez) vezeti. A trachea a szárazföldi ízeltlábúaknál a tüdőt helyettesíti. A szárny a testfal hátoldali kitüremkedése, amelyben a kétrétegű kitinhártyát a köztes ún. „erek”, azaz a keringő nedvet tartalmazó légcsövek feszítik ki, és amelyet izmok mozgatnak.

A szárnyak se nem végtagok, se nem élettelen kitinlapok, hanem a testtel szoros kapcsolatban álló speciális mozgásszervek.

Az első, még szárnyatlan rovarmaradványt (*Collembola* = ugróvillás) a devonból írták le. A felső karbonban legalább egy tucat rendjük fosszilizálódott. Ezek 1/3-a ma is él. A paleozoikumban viszonylagosan óriási termetű rovarok is éltek. A *Meganeuridae* családba tartozó „összitaötő” szárnyszélessége elérhette a 75 cm-t is. Maga a család a felső karbontól a felső permig élt. A mezozoikumban több új rend jelent meg.

A mai rovarok közül a rendszerezők több mint 1 millió fajt írtak le, és a leíratlan fajok számát 20-50 millióra becsülik! A legalakgazdagabb ízeltlábútörzs 98%-át rovarfajok alkotják. Rendkívüli alakgazdagságuk és tömeges előfordulásuk nélkülözhetetlen táplálékforrást jelentett a később fellépő repülő őshüllők, madarak és emlősök számára.

A repülő őshüllők (*Pterosauria*) ugyanabban az időben (felső triász; karni emelet) jelentek meg, mint a dinoszauruszok, és velük egy időben haltak ki (felső kréta; maastrichti emelet). A két csoport nem közös őstől származott, és törzsfelődési irányuk is eltért egymástól. A dinoszauruszokat két lábon járás jellemezte, a repülő őshüllők négy lábon jártak, és a hátsó végtag négy ujjá alig távolodott el egymástól. A mellső végtag is négyujjú volt, feltűnően hosszú és erős negyedik ujjal. A csontok könnyűek voltak, de nagyon szilárdak. A szilárdság a csontelemek összenövéséből, a csontok hengeres felépítéséből s vékony falvastagságából adódott. A csontok pneumatikusak, azaz a tüdővel pórusok által közvetlenül érintkeztek. A vékony vázból ítélve a *Pterosauriák* testsúlya kisebb volt az azonos méretű madarakénál!

A könnyű csontváz előfeltétele a repülésnek, tehát preadaptív bélyeg. Újítás viszont a bőrvitorla (*patagium*). A bőrvitorlát a mellső végtag negyedik ujjá feszítette ki. A repülés előtt az állat két lábra állt, és a mozgékony hátsó végtag segítségével felugrott a levegőbe. A repülőizmok a szegycsont (*sternum*) taréjszerű nyúlványához tapadtak.

A repülő őshüllők a mezozoikum jellegzetes állataihoz tartoztak, bár törékeny vázuk ritkán fosszilizálódott. Különös szerencsének mondható, hogy egyik, Németországból (*Solnhofen*; felső jura) származó lelete Mária Terézia leányának gyűjteményéből az ELTE Őslénytani Tanszékének tulajdonába került.

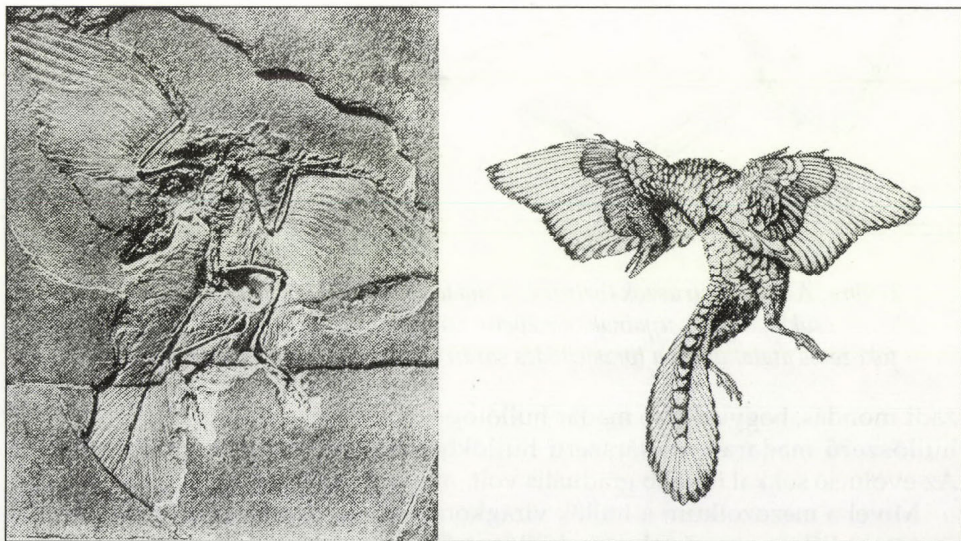
A repülő őshüllők állkapcsában még hosszú, hegyes fogak voltak. A legfejlettebbeknél a fogak hiányoztak, és az állkapocs csőrszerű lett. Ezek közé tartozott az eddig ismert legnagyobb repülő élőlény, a 15 m szárnyszélességű *Quetzalcoatlus*, amelynek testsúlyát 86 kg-ra becsülik. Összehasonlításképpen: a ma élő, lebegésre alkalmas legnagyobb madarak testsúlya 12–15 kg között változik, a legkisebb pedig, a kolibri, mindössze 3,5 gramm súlyú.

A *Pterosauriák* kezdetben rovarokkal táplálkoztak, de a legnagyobb méretűek lehet, hogy dinoszauruszok tetemeit fogyasztották.

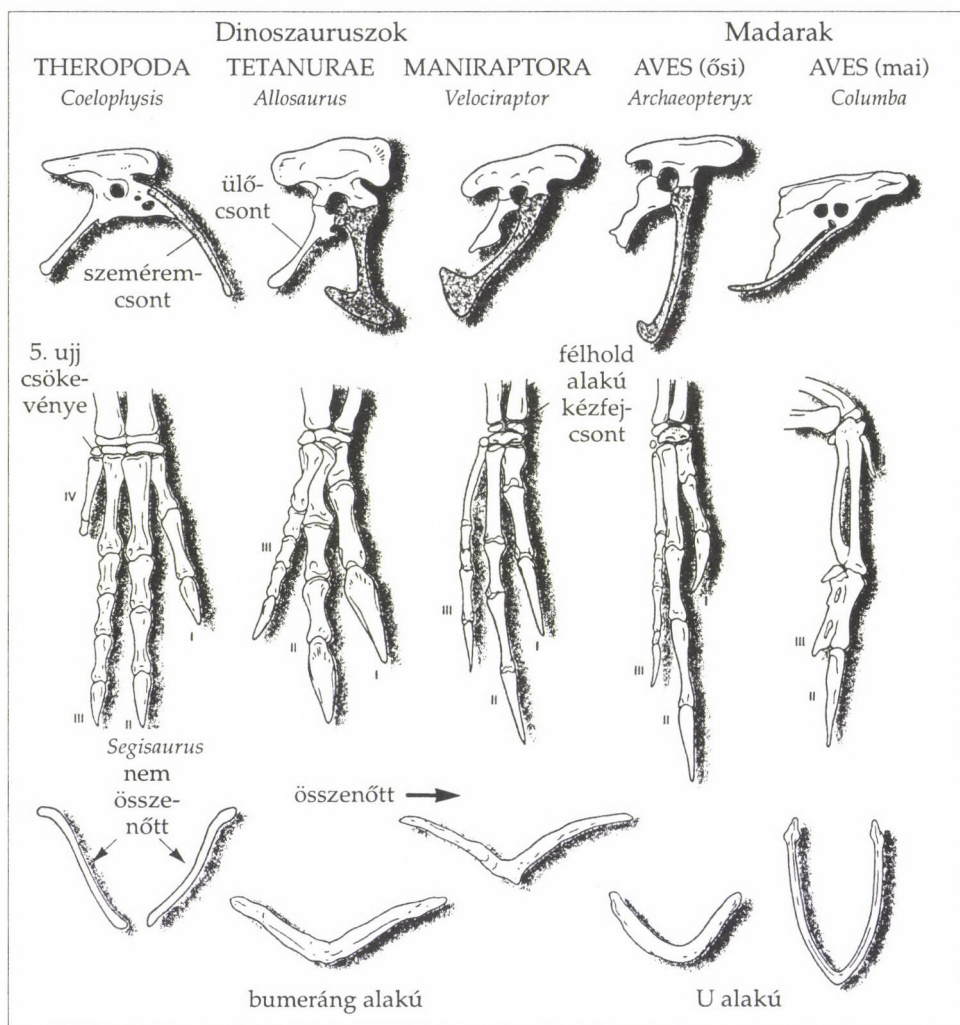
A kréta időszakban a repülő őshüllőket fokozatosan szorították a háttérbe a madarak.

A levegő meghódítására a madarak (Aves osztály) voltak a legalkalmasabbak. A madarak a hüllőkből alakultak ki, sokkal később, mint az ugyancsak a Reptiliákból származó emlősök. Legfeltűnőbb bélyegüket, az első fosszilis tollat Ch. Darwin úttörő művének *A fajok eredetének* megjelenése után egy évvel, 1860-ban találták. A 6 cm hosszú, aszimmetrikus felépítésű – azaz nem a toll hossz tengelyében elhelyezkedő gerincű – kontúrtollat a dél-németországi Solnhofen finom szemcsés, lemezes mészkő rétegsorában találták meg. A beágyazott kőzet kora felső jura, és az eredeti mészszipa mintegy 150 millió évvel ezelőtt rakódott le.

A toll felfedezését hamarosan követték az „ősmadár” (*Archaeopteryx*) teljes példányai is (1. ábra). Jelenleg az ősmadárnak 7 példányát ismerjük. A tollak lenyomata valamennyi példányon felismerhető. Egyértelmű, hogy a tollazat a madarak – ideértve az ősmadarat is – új, a hüllők pikkelyeitől eltérő bélyege, nagyon bonyolult szerkezettel. A mai madarak tolla egyaránt elősegíti a hőszabályozást (termoreguláció), a védőszínezet kialakulását, valamint a kommunikációt a szexuális kiválasztódással kapcsolatosan. Az ősmadár tollainak színezetét természetesen nem ismerjük, de az ún. evezőtollak kevésbé aszimmetrikusak, mint a repülő madarakéi, és inkább a futómadarak tollára emlékeztetnek. A csonttani bélyegek szintén arról tanúskodnak, hogy az ősmadár csak rosszul repülhetett. A csontok nem voltak pneumatikusak, fejletlen volt a szegycsont, középső taréj nélkül. A medencecsontok alul nem nőttek össze, és a lábközépcsontok is még elkülönültek egymástól. Az ősmadár koponyája hüllőfelépítésű volt, és gyíkszerűen hosszú farokcsigolyái nem nőttek össze egységes lemezzé (pygostyl). Az ősmadár bélyegei mozaikszerűen hüllő vagy madár jellegűek. Az a 19. szá-



1. ábra. Az ősmadár (*Archaeopteryx*) teteme és rekonstrukciója



2. ábra. A dinoszauruszok (balra) és a madarak (jobbra) medenceövének (felül), csuklójának és ujjainak (középen), valamint kulcscsontjának (alul) fokozatos átalakulása a törzsfejlődés során (Padian és Chiappe, 1998 nyomán)

zadi mondás, hogy az első madár hüllőtojásból bújt ki, módosításra vár. Az első hüllőszerű madarak madárszerű hüllőkből mozaikevolúció során váltak ki. Az evolúció sokkal inkább graduális volt, mintsem ugrásszerű (2. ábra).

Mivel a mezozoikum a hüllők virágkora volt, az ősmadárnak pedig számos csonttani bélyege egyértelműen hüllőszerű, korán felvetődött a kérdés, milyen lehetett az „előmadár” („Proavis”), amelyből az *Archaeopteryx* is kialakult. R. Owen, a 19. század nagy anatómusa, az *Archaeopteryx*-et 1863-ban részletesen

leírta. A fosszília alapján Darwin barátja és a darwinizmus védelmezője, T. H. Huxley már 1868-ban feltételezte, hogy a madarak ősei szoros rokonságban voltak a ragadozó dinoszauruszokkal (Theropoda). Máig tartó vita viszont, hogy a feltételezett ős faágak között kapaszkodva élt-e, vagy pedig gyors mozgású, két lábon futó forma lehetett-e. Ez utóbbi feltevés Nopcsa Ferenc (1907) nevéhez fűződik, aki az elméleti őslénytan megalapozója volt. A Proavis mellső végtagjai légcsavarszerűen működtek, és a „proto”-szárnyak pikkelyeiből alakultak ki a tollak.

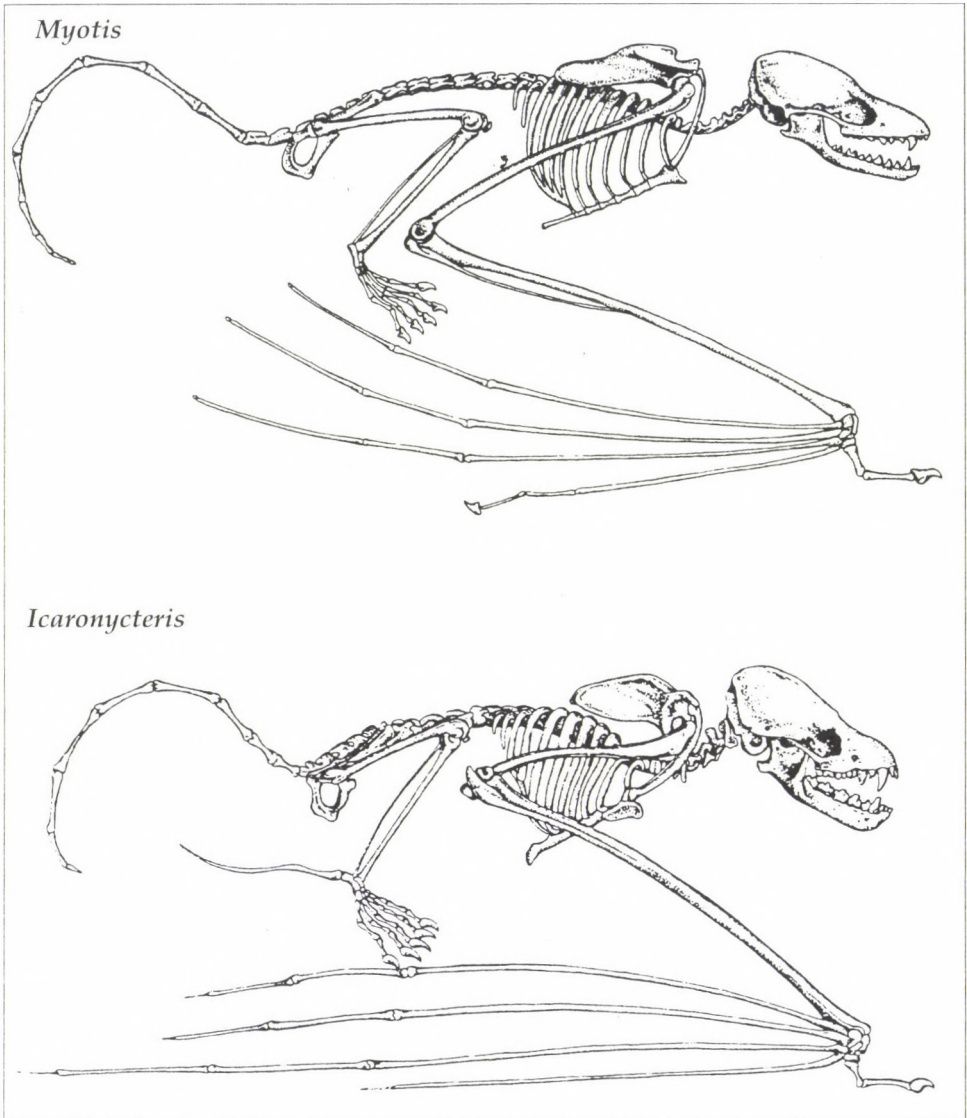
Az utóbbi évtizedben különböző területről (Spanyolország, Kína, Mongólia, Észak-Korea, Madagaszkár, Argentína) számos fosszilis madárszerű hüllőlelet került elő, amely forradalmasította a tollra és a repülésre vonatkozó ismereteket. Valamennyi lelet fiatalabb korú, mint az Archaeopteryx (legalsó kréta; mintegy 140–120 millió év). Ezek bizonyos tekintetben fejlettebbek voltak, mint az ősmadár. A spanyolországi Iberomesornisnak rövid, húsos farka volt, részben még önálló, részben már összenőtt farkcsigolyákkal. Az Iberomesornis sikeresebben tudott fáktól fákig repülni, mint az ősmadár. Az ugyancsak spanyolországi Enantiornithes végtagcsontjai összenőttek, s szegycsontjuk széles volt, középen fejlett taréjjal (carina), és ami a legfontosabb, a szárnyukon kialakult a speciális hüvelykujj, az alula. Az alula segítségével a madarak repülés közben képesek voltak az irányváltoztatásra, tehát manőverezhettek.

A kínai leletekre térve, a Sinosauropteryx testét közel 4 cm hosszú, sűrű, fonálszerű pihék borították („prototollak”) a fejétől a hosszú farka végéig. Ezek az „előtollak” még alkalmatlanok voltak a repülésre, de alkalmasak voltak a belső hőszabályozásra. A Confuciusornis sanctus, azaz Konfuciusz szent madara volt az első olyan madár, amelynek már fog nélküli csőre volt, és hasonlított a mai madarakhoz.

Az ősi típusú madarak a kréta időszak végén kihaltak. A mai típusú madarak közvetlen ősei a paleocénban jelentek meg. A harmadidőszaki madarak fejlődésének második ugrásszerű szakasza mintegy 25 millió évvel ezelőtt, a miocénban ment végbe, az énekesmadarak (Passeriformes) megjelenésével.

A negyedik a levegőben aktív mozgásra alkalmas szárnyú csoport az emlősök osztályába tartozik. Az emlősök a dinoszauruszoktól teljesen független ágon az alsó halántéklablakú, emlősszerű hüllők (Synapsida) alosztályából alakultak ki. A Synapsidák az alsó karbontól a felső triászig éltek. A triász-jura határon jelentek meg a legprimitívebb emlősök. A kréta időszakban különültek szét az erszényesek (Marsupialia) és a fejlett Eutheriák, azaz a méhlepényes emlősök (Placentalia). A mai állatvilág legjellegzetesebb méhlepényeseit 34 rendbe soroljuk. Ezeknek a rendeknek több mint a fele a harmadidőszak vagy a negyedidőszaki pleisztocén eljégedésének során kihalt.

A denevérek (Chiroptera) rendjét elsősorban bőrvitorla (chiropatagium) jellemzi, amelyet a 2., 3., 4. és 5. ujj feszít ki. A denevérszárny tehát a rendkívül megnyúlt (hypertrof) ujjak miatt többtengelyű dactylopatagium. Ezzel ellentétben a repülőhüllők bőrvitorlája csak egytengelyű, és ugyanez mondható a madarak szárnyára is. A denevéreknél az 1. (és esetleg a 2.) ujj szabad, rövid karomban végződik, és a többi ujjal szembefordul. Csontjai könnyűek és pneu-



3. ábra. Alsó cocén (alul) és recens denevér (felül) csontváza (Carrol, 1997 nyomán)

matikusak. Ellentétben a repülőhüllőkkel és madarakkal, a földről nem tudnak a levegőbe emelkedni. Rovarokkal és gyümölcsökkel táplálkoznak, bár akad köztük vérszopó. A főként éjszakai állatok ultrahang segítségével kitűnően tájékozódnak. Az ultrahang kibocsátásában a száj, az orr, kivételesen a nyelv is részt vehet, és a visszavert hangot a kivételesen fejlett fül fogja fel. Hőszabályozásuk nem fejlett, ezért általában téli álmot alszanak.

A denevérek evolúciója elgondolkodtató. Biztos, hogy ősi, a kréta időszak végén kialakuló rovarrevő renddel (Insectivora) közös ősök volt. A legidősebb denevérellet az alsó eocénből került elő. Ennek csontváza messzemenően hasonlított a rovarrevőkére (3. ábra). A középső eocén híres messeli (Németország) lelőhelyén már a bőrvitorla is megőrződött, a koponyában az ultrahang felfogására utaló berendezéssel. Az ultrahangos ekhólokáció az eocén óta tökéletesedett, lényegében azonban alapfelépítésük az utolsó 50 millió évben nem változott. A Chiropterák evolúciója egyrészt jó példája az ugrásszerűen gyors fejlődésnek (makroevolúció), másrészt az ezt követő tartós egyensúlyi állapotnak (stasis). Jelenleg csaknem 900 fajuk él, kihasználva a virágos növények és az ezeket beporzó rovarok alakgazdaságát.

Befejezésül utalnánk arra is, hogy az embert is vonzotta a levegő. Elég itt emlékeztetni az Ikarosz-mondára vagy Leonardo da Vinci rajzaira, amelyeket a madarak repülésének tanulmányozására szentelt. A 20. század kellett ahhoz, hogy az emberiség a levegőt – néha félelmetes módon – különböző típusú repülőgépeivel birtokába vegye.

Irodalom

- Benton, M. J. (ed.): *The Fossil Record 2*. Chapman & Hall, London, 1993. 845 p.
- Carroll, R. L.: *Patterns and Processes of Vertebrate Evolution*. Cambridge Palaeobiology Series 2, Cambridge University Press, 1997. 448 p.
- Géczy B.: *Őslénytan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1984. 474 p.
- Géczy B.: *Ősállattan – Vertebrata paleontológia*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1993. 502 p.
- Padian, K. & Chiappe, L. M.: The Origin of Birds and their Flight. *Scientific American*, February 1998, 36–47.
- Wellnhofer, P.: *The Illustrated Encyclopedia of Pterosaurs*. Crescent Books, New York, 1991. 192 p.
- Wellnhofer, P.: Archaeopteryx, der Urfogel aus Bayern. In: *Mineralientage München 1995, Aktuelle Geoinformation*. Offizielle Katalog der 32. Mineralientage München, 27.–29. Oktober, 1995. 114–135.

FIZIKAI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA

**A FIZIKAI FEJLŐDÉS IRÁNYAI
A LÉZERFIZIKA ÚJABB EREDMÉNYEI
SZILÁRDTESTKUTATÁS – 1998**

BIRÓ TAMÁS SÁNDOR

A kvarkanyag hadronizációja

Különleges aktualitást ad a kvarkanyagról szóló előadásnak az, hogy a legutóbbi *Quark Matter* konferencián, 1997 decemberében elhangzottak alapján a CERN relativisztikus nehézion-kísérleteiben az összelőtt atommagok kvarkanyaggá alakulásának első jelei mutatkoztak a csinos kvarkokból álló J/ψ mezon ugrásszerűen redukált produkciójában.

Ha valóban létrejön kvarkanyag a nehézion-ütközések némelyikében, ez egy instabil állapot, amely hadronokká bomlik. A fő kérdés az, hogy a keletkezett hadronok spektrumában, számarányaiban és energetikai viszonyaiban hogyan tükröződnek a kvarkanyag tulajdonságai, mik a kvarkállapot jelei. A mi jelenlegi kutatásaink* egy-egy kiragadott hadron helyett az összes, u , d vagy s kvarkot tartalmazó, alap- és első gerjesztett állapotú mezonok és barionok számarányainak vizsgálatával igyekeznek megválaszolni a fenti kérdést. Munkánk fő eszköze a számítógépes szimuláció, amely a QCD fenomenológikus modelljein alapul.

Előadásomban a nehézion-kísérleti programok és a főbb elméleti megközelítések rövid áttekintése után rátérek az általunk kidolgozott transzkémiai modell bemutatására. Eddig eredményeink fizikai értelmezése s végül néhány szóban további kutatási terveink felvázolása zárja majd e rövid ismertetőt.

Nhézion-kísérleti programok

A jelenleg működő s két tervbe vett nehézion-gyorsító adatait az 1. táblázat foglalja össze.

A Brookhavenben működő AGS és a készülő RHIC arany magokkal, míg a genfi CERN SPS, illetve tervezett LHC gyorsítóján ólomnyalábokkal folynak kísérletek. A \sqrt{s} tömegközépponti energia és a raptiditásegységenként produkált új részecskék számának (dN/dy) növekedése a becsült kezdeti energiasűrűség (ϵ)

* Az előadás a Lévai Péterrel és Zimányi Józseffel végzett kutatásokon alapul.

| Gyorsító | Atommagok | $\sqrt{s} [\text{GeV} / A]$ | dN / dy | $\varepsilon [\text{GeV} / \text{fm}^3]$ | $T [\text{MeV}]$ |
|-------------|-----------|-----------------------------|-----------|--|------------------|
| AGS (1998) | Au – Au | 4 | 230 | 0,8 | 150 |
| SPS (1998) | Pb – Pb | 17 | 700 | 2,4 | 190 |
| RHIC (1999) | Au – Au | 200 | 1400 | 5,1 | 230 |
| LHC (2005) | Pb – Pb | 6300 | 2600 | 9,0 | 260 |

és hőmérsékletértékeket (T) az elméletileg várt színfelszabadítási tartományba emeli, ahol a normális állapotú hadronok helyett egyedülálló kvarkok és gluonok jelenhetnek meg a reakció során képződő tűzgolyóban.

A kirepülő részecskék transzverzális impulzusának összehasonlító tanulmányozása különböző gyorsítókon a keresztmozgás telítődésére utal: 10–20 GeV / A nucleonkénti tömegközépponti energia felett az átlagos transzverzális impulzus nem emelkedik 300–350 MeV fölé. Jelenleg vitatott, hogy ez a jelenség az atommagok bombázó energiával növekvő átlátszósága miatt lép-e fel, vagy az elsőfokú fázisátalakulás tanúi vagyunk, melynek során a fokozódó energiaközlés ellenére a hőmérséklet állandó. E dilemma eldöntéséhez mindenképpen szükség van a kvarkanyag egyéb, nem kinematikai jeleinek tanulmányozására.

Elméleti megközelítések

Egy olyan jelenség leírásához, amely csak instabil állapotban, rövid ideig létezik, s ezért kísérletileg csak bomlástermékei tanulmányozhatók, elengedhetetlen az elméleti-fenomenológiai modellek alkalmazása. A kvarkanyag elméleti megközelítései sokrétűek; a 2. táblázat rövid összefoglalását nyújtja legfontosabb reprezentánsaiknak. A második és harmadik oszlop a relativisztikus nehézion-fizika szempontjából (és csak annak a szempontjából) előnyös, illetve hátrányos tulajdonságokat sorolja fel, míg az utolsó oszlopban a legjellemzőbb eredmények kerülnek említésre.

Az általunk kifejlesztett transzkémiai modell egy józan kompromisszumot képvisel a szükséges közelítések és a teljesítőképesség kívánalma között: a kvark-bezárás és a nemegyensúlyi leírás az, amitől a kvarkanyag újrachadronizációjának modellezésekor nem tekinthetünk el.

A transzkémiai modell

A transzkémiai modell logikai felépítése az alábbi kapcsolatokkal jellemezhető:

- 1.) A bezárási mechanizmust leíró effektív potenciál mind az állapotegyenletre, mind a hadronképzési valószínűségekre kihat.

2. táblázat

| modell | előnyei | hátrányai | eredményei |
|----------------------------|---|--|--|
| rács QCD | nem perturbatív, mértékinvariáns, elemi | csak egyensúlyi, barionmentes, szeparált fázisok | kvarkbezárás, húrállandó, fázisátmenet |
| perturbatív QCD | analitikus módszer, fel- összegezhető | közel egyensúlyi, nincs mágneses árnyékolás | transzport, effektív tömeg |
| effektív térelmélet | egyszerű bezárás, átlagtér | nem elemi, explicit hadronok, csak numerikus megoldás | mezonképződés hatáskeresztmetszet, húrok, zsákok |
| termikus modellek | a legegyszerűbb, kevés paraméter | csak egyensúlyi, nincs bezárás | részecskeszámok, spektrumok |
| mikrodinamikai modellek | részletes, nemegyensúlyi | sok paraméter, nincs átlagtér | részecskeszámok, spektrumok |
| transzkémiai modell | viszonylag egyszerű, nemegyensúlyi, bezárás | térben átlagol, potenciálkép | részecskeszámok, hadronizáció, húrok |

- 2.) A húrokkal kölcsönható, effektíve tömeges kvarkok fizikai képe vezet az alkalmazott állapotegyenlethez, ami mind a hadronképződés sebességét, mind a tűzgolyó tágulásának a gyorsaságát befolyásolja.
- 3.) A hadronizációs folyamatok háttérét egy partikuláris szétfolyási mintázat, az egydimenziós, relativisztikus tágulásban fellépő Bjorken-féle sebességprofil adja.
- 4.) Végül a tömeges kvarkokból alap- és gerjesztett állapotú hadronok képződnek.

Külön hangsúlyozást érdemel az a tény, hogy ez a modell – a húrszerű kölcsönhatás folytán – teljesen bezáró, vagyis a kvarkanyag-hadronanyag keverékben nem marad egyetlen kvark sem a folyamat végére.

Állapotegyenlet

A modell annak köszönheti ezt a korántsem triviális tulajdonságát, hogy a használt állapotegyenletben a szabad energia sűrűsége a színes részecskék (kvarkok, antikvarkok és dikvarkok) sűrűségének (n) szublineáris függvénye:

$$F = F_{id} + q\sigma V n^{2/3}. \quad (1)$$

Itt a szokásos húrállandó fele, $\sigma \approx 0,5 \text{ GeV/fm}$ veendő, mert a hurok kvarkpáronként lépnek fel. Az effektív szintöltés,

$$q = \frac{\sum n_i q_i}{\sum n_i} \quad (2)$$

hadronoktól nem kap járulékot, csak kvarkoktól és dikvartoktól.

A fenti állapotegyenletből adódó kémiai potenciál, a szokásos ideális gáz járulékon kívül egy olyan tagot tartalmaz, amely kis színsűrűség divergens:

$$\mu_i = \mu_{i,\text{id}} + \left(q_i - \frac{1}{3} q \right) n^{-1/3}. \quad (3)$$

A növekvő kémiai potenciál felgyorsítja a kvarkok eltűnését a rendszerből.

A kvarkanyag tágulása, valamint a nehezebb hadronok keletkezése hűti, míg a kvarkok elfogyása – a korábban a hurokban jelenlevő energia felszabadulása miatt – melegíti a rendszert. E két hatás kiegyensúlyozott ellenjátéka rövid idő után megbomlik, s a tisztán hadronikus anyag lehűlve szétesik.

Az ideális, nem sűrűlő folyadéokra érvényes energia- és impulzus-megmaradás $\partial_\mu T^{\mu\nu} = 0$ relativisztikus egyenletéből levezethető egy lokális, kis dV térfogatú elemi cellára az adiabatikus összefüggés:

$$dE + pdV = (dE + pdV)_{\text{id}} + \sum_i (\mu_{i,\text{id}} - \mu_i) dN_i = 0. \quad (4)$$

Az általunk használt (1) állapotegyenlet esetében ez az alábbi hűlés törvényre vezet:

$$\frac{\dot{T}}{T} = -\frac{2}{3} \frac{\dot{V}}{V} - \frac{1}{\sum N_i} \left(\sum \dot{N}_i + \frac{2}{3} \sum \frac{m_i}{T} \dot{N}_i + \frac{4}{9} \frac{\sigma}{T} n^{-\frac{1}{3}} \sum q_i \dot{N}_i \right), \quad (5)$$

ahol T az abszolút hőmérséklet, V az össztérfogat, N_i a részecskék fajtankénti száma, s végül m_i a tömegük.

Hadronizációs ráták

A hadronizációs mikrofolyamatok jellemző sémája az egyszerű fúzió, $i + j \rightarrow k$, amelyen az impulzusegyensúlyt a mindenütt jelenlevő háttérrel való kölcsönhatás állítja helyre. Minden egyes reakció megváltoztatja a benne résztvevők számát, egy adott kis $d\tau$ lokális idő alatt:

$$dN_k = -dN_i = -dN_j = Ad\tau \quad (6)$$

A konverziós ráta A általános alakja,

$$A = R_{i+j \leftrightarrow k} N_i N_j \left(1 - e^{\frac{\mu_k}{T} - \frac{\mu_i}{T} - \frac{\mu_j}{T}} \right) \quad (7)$$

tartalmazza az oda-vissza reakciók egyenlegfaktorát a zárójelben. A hadronizációs ráták az

$$R = \langle \sigma \frac{|\vec{p}|}{m} \rangle \quad (8)$$

képletből számíthatók, m redukált tömeg és \vec{p} relatív impulzus esetén. A σ hatáskeresztmetszet egy Coulomb-potenciálban történő nemrelativisztikus befogási hatáskeresztmetszet, mely a \vec{p} relatív impulzus és az $a = 1/(\alpha m)$ Bohr-sugár függvénye:

$$\sigma \propto \frac{1}{(\vec{p}^2 + 1/a^2)^2} \quad (9)$$

A relatív impulzusok eloszlása feltételezésünk szerint Maxwell-Boltzmann-eloszlás,

$$dP(\vec{p}) \propto e^{-p^2/(2mt)} d^3p. \quad (10)$$

Mindezeket a számolásokat az összes, u , d és s kvarkokból, valamint azok anti-kvarkjaiból és dikvarkjaikból adódó lehetséges 47 asszociációra, illetve az ezek között fellépő 41 különböző fúziós reakcióra elvégeztük a számítógépes szimuláció során.

Entrópiatermelés

Külön említést érdemmel az entrópiatermelés a fent bemutatott komplex rendszerben, hiszen ez mérvadó a fizika olyan alapelveinek ellenőrzése szempontjából, mint a termodinamika sokrészecskerendszerek irreverzibilis viselkedését leíró II. főtétele. Valóban a $dE + pdV = TdS + \sum \mu_i dN_i$ összefüggés alapján az entrópiatermelés ráta összeköthető a hadronizációs folyamatok sebességével:

$$\dot{S} = -\sum \frac{\mu_i}{T} \dot{N}_i. \quad (11)$$

Ez a mennyiség sohasem negatív, mint ez a (6) és (7) képletek felhasználásával levezethető. Nulla is csak akkor lehet, ha beáll az általánosított kémiai egyensúly, azaz

$$\mu_i + \mu_j = \mu_k \quad (12)$$

minden vizsgált reakcióra.

Végállapoti bomlások

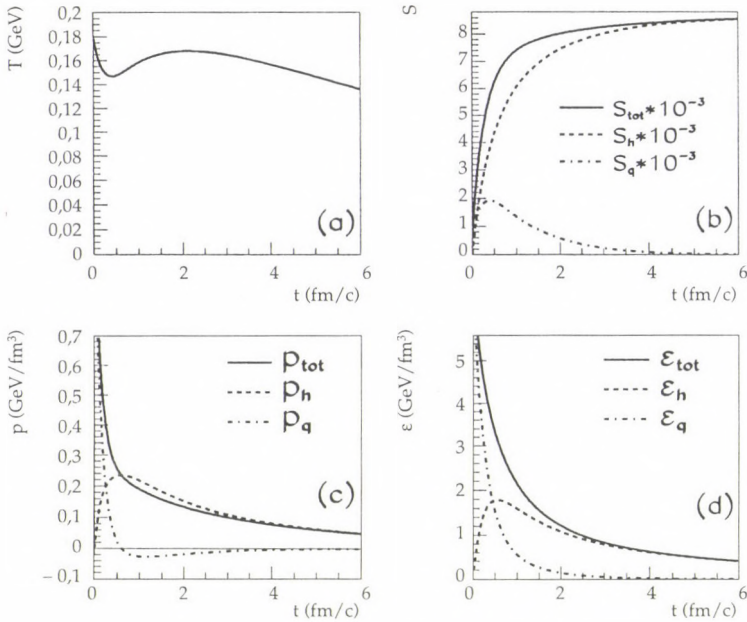
A fent elemzett mikrohadronizációs reakciók termékei hadronikus kvarkcsomósodások, amelyek úgy alap-, mint gerjesztett állapotú hadronok lehetnek. A szimuláció végső fázisában a spindegenerációk arányában a stabil és a bomló rezonanciaállapotú hadronok között elosztott kvarkhalmazok számából kiindulva, a kísérletileg megfigyelhető stabil hadronok számát az ismert bomlási csatornák figyelembevételével, egyszerű felösszegzéssel számoljuk.

Eddigi eredményeink

A fent ismertetett modell eredményeit a tágulás–hűlés és az entrópiatermelés, vagyis a globális tulajdonságok bemutatásával kezdem. Ezt követi majd a kvarkok, dikvarkok és a hadronszerű kvarkhalmazok számának időbeli fejlődése. Végül néhány, a kísérletekkel közvetlenül összehasonlítható részecskearány zárja eddigi eredményeink ismertetését.

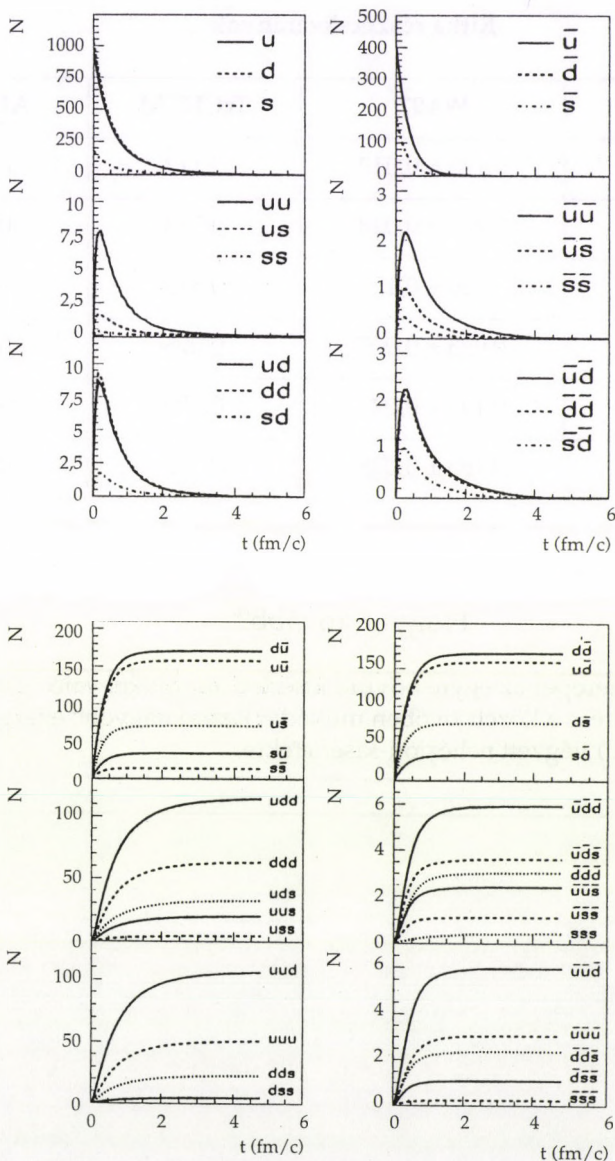
Az 1. ábra sorrendben a hőmérséklet (T), az összentrópia (S_{tot}) és annak kvarkokra (S_q), illetve hadronokra (S_h) eső része időfejlődését (felső sor), valamint a p nyomás és az ε energiasűrűség hasonlóan felosztott részeit (alsó sor) mutatja.

A 2. ábrán a felső ábracsoport a színes részecskék, míg az alsó ábracsoport a mezonok és barionok számának időbeli változásait mutatja.



1. ábra. Tágulás, hűlés, entrópia

A fenti görbék általános lefutása kielégítő: az összentrópia nem fogy, a rendszer egy kezdeti újramelegítés után növekvő sebességgel tágul és hűl (1. ábra). A kvarkok, dikvarkok és antirészecskéik viszonylag rövid idő után elfogynak, s csak hadronikus halmazaik maradnak a rendszerben (2. ábra). Végezetül a kísér-



2. ábra. Kvarkbezárás és hadrontermelés

letileg megfigyelhető részecskeszámok kiszámítása vezet el a transzkémiai modell ellenőrizhető jóslataihoz.

A 3. táblázat a hiperonok (ritka kvarkot tartalmazó barionok) számarányait tartalmazza, összevetve a kísérletileg jól meghatározott adatokkal:

3. táblázat

Ritka részecskearányok

| Pb+Pb | WA97 | TrCHEM | ALCOR |
|-------------------------------|-------------------|--------|-------|
| $\bar{\Lambda}^0 / \Lambda^0$ | $0,128 \pm 0,012$ | 0,112 | 0,117 |
| Ξ^+ / Ξ^- | $0,266 \pm 0,028$ | 0,243 | 0,227 |
| Ω^+ / Ω^- | $0,46 \pm 0,15$ | 0,529 | 0,564 |
| Ξ^- / Λ^0 | $0,093 \pm 0,007$ | 0,078 | 0,071 |
| $\Xi^+ / \bar{\Lambda}^0$ | $0,195 \pm 0,023$ | 0,170 | 0,138 |
| Ω^- / Ξ^- | $0,195 \pm 0,028$ | 0,095 | 0,125 |

Hogyan tovább?

Terveink között szerepel az egyre bővülő kísérleti adatokkal való egybevetés és előrejelzések készítése a közeli jövőben működni kezdő nagyobb energiás gyorsítók (LHC, RHIC) végzett nehézion-kísérletekre.

SOMORJAI ENDRE

Protonban gazdag magok szintézise az univerzumban

A mag-asztrofizika eredményei is jelentősen hozzájárultak ahhoz, hogy az ismert kémiai elemek stabil izotópjainak képződési mechanizmusai ma már jól ismertek. Ezek kidolgozásában W. Fowler kiemelkedő szerepét a tudományos társadalom fizikai Nobel-díjjal ismerte el 1983-ban. Ismeretes, hogy a vasnál nehezebb elemek izotópjai a csillagokban lassú (s)- és gyors (r)-neutronbefogás és az ezeket követő β^- -bomlások során keletkeznek [1]. Egy kisebb, protonban gazdag csoportja az izotópoknak – az ún. *p-magok* – azonban nem képződhetett ily módon, mert ezeket a *p-magokat* a β^- -bomlásokkal szemben stabil izotópok jelenléte „leárnyékolja”. Képződési mechanizmusuk, sok próbálkozás ellenére, hosszú ideig ismeretlen maradt.

Milyenek is ezek a *p-magok*? Stabil, a vasnál nehezebb, protonban gazdag páros-páros magok, relatív gyakoriságuk a Naprendszerben alacsony, mindössze 0,1–1%, és bizonyíthatóan *s-folyamattal* létrejött magokból keletkeznek.

Szintézisük, az ún. *p-folyamat* leírására először a legkézenfekvőbb (p,γ)-reakciókkal próbálkoztak, azonban a megfigyeléseket nem sikerült reprodukálni, ehhez a kiinduló magok csillagbeli helyén ugyanis irreálisan magas protonszűrűsége és hőmérsékletre lenne szükség. A megoldáshoz a szupernóvák elméleti leírásának közelmúltbeli jelentős fejlődése vezetett. A jelenleg elfogadott elmélet [2, 3] szerint a II típusú szupernóva O/Ne-rétegében a kiinduló *s-magokból* egymást követő (γ,n)-reakciók sorozata felelős keletkezésükért (ezért helyesebb lenne a szokásos *p-folyamat* helyett a ritkán használt *γ -folyamat* elnevezés). A fotoneutronreakciók a $2,1 \times 10^9 \leq T \leq 3,2 \times 10^9$ K ($2,1 \leq T_9 \leq 3,2$) hőmérséklet-tartományban kb. 1 s-os időskálán zajlanak le, s ez a protongazdag magok irányába haladó folyamat az egyre növekvő neutronkötési energiák (S_n) miatt fokozatosan lelassul, és végül (γ,n) \leftrightarrow (n,γ) reakció-egyensúly áll be. Az ilyen várakozási helyek (ahol anyag gyűlik fel) maguk a *p-magok* vagy ezek β^+ -bomló („kifagyás” után) elődei. A várakozási pontokon páros-páros magok találhatók (nagyobb stabilitás), a páratlanok a nagy γ -fluxusban azonnal megsemmisülnek. A várakozási helynek megfelelő magokon ezt követően, nagy S_n értékeik miatt, a Coulomb-gát ellenére (γ,α) vagy

(γ, p) -reakciók mennek végbe. A fentieknek megfelelően tehát egy a Pb-tartománytól a vasig terjedő reakciófolyam alakul ki. Némi gondot okozott az az ismert tény, hogy a fotoneutron-reakciók hatáskeresztmetszete adott hőmérséklet mellett a tömegszám növekedésével rohamosan nő. Ez más szóval azt jelentené, hogy amíg a reakciófolyam révén egy könnyű p -mag előáll, az összes nehéz megsemmisül, tehát nem léteznének nehéz p -magok. A nehézség elkerülésére az O/Ne-rétegben hőmérséklet-„rétegeződést” tételeztek fel, ily módon a folyamat az egyes tömegtartományokban más-más hőmérsékleten zajlik, és a már létrejött p -magok a gyors folyamatot követően „kifagynak”.

A p -folyamat modellezése a szupernóvák elméleti leírásán (s-magok gyakoriságeloszlása, hidrodinamikai leírás, hőmérséklet-eloszlások stb.) túl magfizikai oldalról egy olyan nagy terjedelmű ($12 \leq A \leq 210$) magreakció-hálózat kezelését jelenti, amely mintegy 11 000 (!) magreakció sebességét tartalmazza [4]. A számítások igazolták a p -folyamat itt vázolt elméletének helyességét, a p -magokra számolt gyakoriságok jól egyeznek a megfigyelésekkel, kivéve néhány könnyű p -magot (különösen két-két Mo- és Ru-izotópot).

A hálózatot kezelő differenciálegyenlet-rendszerben a Si feletti tartományban a reakció-sebességeket a Hauser–Feshbach statisztikus modellszámolások szolgáltatják. A vasnál nehezebb magokra nem is volt más lehetőség, hiszen töltött részecskékkel létrehozott reakciómérés – a mélyen Coulomb-gát alatti energiáknál a rendkívül alacsony hatáskeresztmetszetek miatt – mindössze egy létezett [5].

Az ATOMKI-ben ezért OTKA-támogatással és nemzetközi együttműködésben elkezdtük a p -folyamat kísérleti vizsgálatát. Ennek során egy könnyű (^{74}Se) és egy nehéz (^{144}Sm) p -mag (γ, α) bomlásának hatáskeresztmetszetét mértük az inverz (α, γ) reakciók segítségével, az asztrofizikai szempontból fontos alacsony bombázó energiáknál [6, 7]. Azon túlmenően, hogy a p -folyamat szempontjából a hatáskeresztmetszet-értékek ismerete a várakozási helyeknél a legkritikusabb, célunk a statisztikus modellből számított adatok helyességének ellenőrzése volt. Felvetődött ugyanis a kérdés, hogy az a statisztikus modell, amely általában megbízhatóan működik, milyen minőségű eredményeket ad erősen neutronhiányos magok esetén. Ezenfelül Sm-mérésünknek megkülönböztetett fontosságot adott még az a tény, hogy a $^{144}\text{Sm}/^{146}\text{Sm}$ arányok (mindkettő p -mag!) mérésével a ^{146}Sm -mag – hosszú, 10^8 év felezési ideje alapján – a p -folyamat „órájaként” szolgálhatna abban az esetben, ha az arányokat kialakító folyamat pontosan számolható. Ebben a kritikus mennyiség a ^{144}Sm hozama, vagyis a vizsgálatunk tárgyát képező $^{144}\text{Sm}(\alpha, \gamma)^{148}\text{Gd}$ -reakció inverz hatáskeresztmetszete mélyen Coulomb-gát alatti energiáknál [8].

Amíg a $^{70}\text{Ge}(\alpha, \gamma)^{74}\text{Se}$ -reakcióban mért hatáskeresztmetszeteink és a Hauser–Feshbach statisztikus modellből számolt értékek kiváló egyezést mutatnak [6], a $^{144}\text{Sm}(\alpha, \gamma)^{148}\text{Gd}$ -reakció esetében az egyezés csak a magasabb energiák esetében jó, a Gamow-energiához közeledve az elmélet egyre növekvő mértékben túlbecsüli a mért értékeket [7]. Az egyezés a ^{144}Sm - α optikai potenciál imaginárius tagjának nagyobb energiafüggésével elérhető volt, sajnos azonban az így konsturuált potenciál nem általános, pl. a $^{70}\text{Ge}(\alpha, \gamma)^{74}\text{Se}$ -reakció esetében rossz ered-

ményt szolgáltat. Levonható következtetésünk az, hogy egyrészt minél több kísérleti adatra van szükség a megbízható eredmények eléréséhez, másrészt a *p-folyamat* elméleti leírásának jelenlegi pontossága nem elegendő ahhoz, hogy a ^{146}Sm -mag a folyamat megbízható „órája” lehessen. A területen elsőként végzett kísérleti munkánk iránti érdeklődést mutatja, hogy az előzetes eredmények bemutatása [9] óta eltelt rövid idő alatt már öt kísérleti vizsgálat történt. Természetesen eredményeink nem kérdőjelezik meg a *p-folyamat* fentiekben vázolt elméletének helyességét, a kísérleti adatokon (is) nyugvó számolások azonban pontosabb eredményekhez vezethetnek.

Mondhatjuk, hogy a protongazdag magok szintézisének megértésével ismét eltűnt egy fehér folt az asztrofizika térképéről, legalábbis majdnem eltűnt. Ugyanis vissza kell térnem a fent már említett könnyű *p-magok*, elsősorban a $^{92,94}\text{Mo}$ - és $^{96,98}\text{Ru}$ -izotópok túltermelődésére. Ennek magyarázatára a fent vázolt elmélet keretén belül számos próbálkozás történt, eredménytelenül. A legújabb elképzelések más folyamatok oldaláról próbálják megmagyarázni az extra anyagképződést, és egyik lehetőségként ismét elővették a korábban alkalmatlannak hitt (p,γ) reakciókon keresztüli szintézis gondolatát.

Jelöltként a forró hidrogénégés $T_8 \leq 3$ K hőmérsékleteknél lejátszódó változata, az ún. *rp-folyamat* (rp = rapid proton) [10] jöhet szóba. A folyamat lényege, hogy magas hőmérsékleteknél a protonbefogási sebességek nagyságrendekkel gyorsabbak, mint a β -bomlási sebességek, a folyamat pályája az egyre nagyobb atomi töltésű magokon keresztül gyorsan távolodik a stabilitási vonaltól a protongazdag magok felé. Elegendően magas hőmérséklet (és protonszűrűség) esetén is azonban ez a pálya véget ér ott, ahol a protonkötési energia (S_p) zérussá válik, azaz az ún. proton drip-vonalnál, itt a (p,γ) és (γ,p) reakciók egyensúlyba kerülnek. A magok innen (és a pálya mentén is növekvő valószínűséggel) β^+ -bomlásokkal stabil magokká alakulnak. Ilyen folyamatból származhat a könnyű *p-magok* izotópgyakoriságában jelentkező többlet. A kérdés az: vajon felmehet-e ezen folyamat pályája a szükséges $A \approx 100$ magok tartományába? A válasz igen, újabb elméleti becslések szerint ugyanis a drip-vonal jelentette határ esetenként legyőzhető. Nevezetesen, hasonlóan a híres 3α -folyamathoz (^{12}C képződése) [11], kicsiny, de véges valószínűséggel $(2p,\gamma)$ -reakciók mehetnek végbe, s így módon két egymást gyorsan követő proton-befogással a folyamat „áthidalhatja” egy páratlan rendszámú elem kisebb stabilitása [$S_p(\text{páratlan}) < S_p(\text{páros})$] miatt a drip-vonalban (cikkakkvonal) jelentkező stabilitási hézagot.

A könnyű *p-magok* gyakoriságtöbbletének magyarázatához a fent vázolt folyamaton kívül szükséges még, hogy létezzék olyan csillagkörnyezet, valamint ebben megfelelő gyakorisággal előforduló olyan esemény, mely a folyamathoz szükséges fizikai paraméterekkel, elsősorban a magas hőmérséklettel és protonszűrűséggel ($T_8 > 8$ K; $\rho > 10^4\text{--}10^5$ g/cm³) rendelkezik. A becslések szerint ilyenek lehetnek az I típusú röntgenkitörések, a neutroncsillagok akreciós korongjai és az ún. Thorne-Zytkow-objektumok felülete. Nehézséget okoz, hogy jelenleg még ezen eseményeknek nemcsak a leírása bizonytalan, hanem gyakran létezésük (T-Z-objektum) is kérdéses.

Röviden összefoglalva: mai ismereteink szerint a *p-magok* szintézise a vázolt mechanizmus szerint történik, túlnyomóan a II típusú szupernóvákban, más univerzumbeli objektumokból, ill. folyamatokból származó hozamok ehhez csak csekély, de szükséges (*rp-folyamat*) vagy teljesen elhanyagolható (nóvák) járulékot szolgáltatnak.

Hangsúlyozni kell, hogy a modern asztrofizika legújabb eredményein kívül a vázolt folyamat pontos megismeréséhez nukleáris asztrofizikai oldalról is a legmodernebb technikai eszközöket és módszereket kell használni. Következik ez abból a tényből, hogy valamennyi részt vevő atommag erősen neutronhiányos és radioaktív, amiről magfizikai ismereteink a kísérleti adatok teljes hiánya miatt igen szerények. Ily módon jelenleg a folyamatot leíró modellek mind minőségben, mind pontosságban erősen korlátozottak. A legfontosabb, szükséges mennyiségekből – a teljesség igénye nélkül – néhány: pontos magtömegek a reakció Q értékeinek ismeretéhez, hiszen a várhatóan erős mag-deformációk miatt a számított értékek bizonytalanok; β -bomlási felezési idők a proton-drip-vonal környékén; protonbefogási hatáskeresztmetszetek a várakozási helyek környezetében. Mindezek megismerése hatalmas mennyiségű kísérleti vizsgálatot igényel, gyorsított *radioaktív nyalábok* használatával. Ez a modern technika rohamosan fejlődik, a világ számos helyén radioaktív ionnyaláb-„gyárak” („RIB-factory”) épülnek, melyek új távlatokat nyitnak nemcsak az itt vázolt témakörben, hanem általában magfizikai ismereteink bővítése terén is. Ily módon ez a kutatási terület feltétlenül az egyik jelöltje a jövő fejlődési irányainak a fizikában.

Irodalom

- [1] Rolfs, C., Rodney, W.: *Cauldrons in the Cosmos*. The University of Chicago Press, 1988.
- [2] Woosley, S. E., Howard, W. M.: *Astrophys. J. Suppl.*, 36 (1978) 285.
- [3] Rayet, M. et al.: *Astron. Astrophys.*, 227 (1990) 271.
- [4] Rayet, M. et al.: *Astron. Astrophys.*, 298 (1995) 517.
- [5] Laird, C. E. et al.: *Phys. Rev.*, C35 (1987) 265.
- [6] Fülöp, Zs. et al.: *Z. Phys.*, A355 (1996) 203.
- [7] Somorjai, E. et al.: *Astron. Astrophys.*, 333 (1998) 112.
- [8] Woosley, S. E., Howard, W. M.: *Astrophys. J.* 354 (1990) L21.
- [9] Somorjai, E. et al.: *Nucl. Phys.*, A621 (1997) 293c.
- [10] Schatz, H. et al.: *Phys. Rep.*, 294 (1988) 167.
- [11] Salpeter, E. E.: *Astrophys. J.*, 115 (1952) 326; *Ann. Rev. Nucl. Sci.* 2 (1953) 41.

Ultraibolya (UV) dozimetria és űrbiológia

A jelen munkában szeretném végigkísérni azt a folyamatot, ami egy nagyon erősen alapkutatói téma vizsgálatától (nukleoproteidek UV-C sugárzás által okozott sérülése) a környezeti (nap-) sugárzás dozimetriájának elvi kérdéseire, valamint gyakorlati megvalósításának feltárásán keresztül ismét egy kifejezetten alapkutatói problémához, nevezetesen az extraterrestriális napsugárzásnak kitett nukleinsav-molekulák (ill. alkotórészeik) sugársérülésének tanulmányozásához vezetett. Míg az első, tisztán alapkutatói fázis laboratóriumi körülmények között zajlott, addig a második fázisban kiléptünk a laboratórium falai közül, és az Északi-sarktól az Egyenlítőn át a Déli-sarkig folytattuk kutatásainkat. Az űrbiológiai kutatások még tovább bővítik lehetőségeinket, és a már kiépítés alatt lévő Nemzetközi Űrállomáson (Internacional Space Station, ISS) nyertünk lehetőséget kutatásaink folytatására.

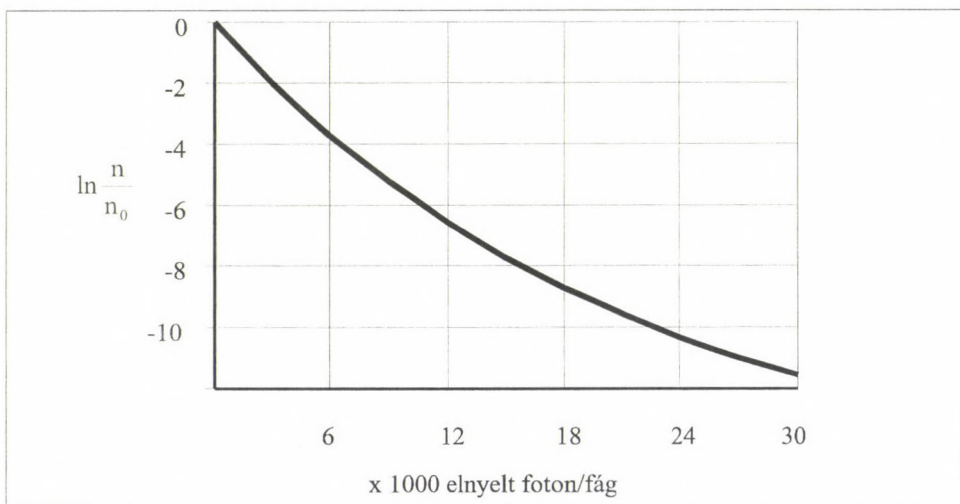
A középpontban tehát a nukleinsav/nukleoproteid UV-sérülése áll. A DNS UV-sérülése ui. például központi szerepet játszik a bőrdaganatok keletkezésében [1]. Vizsgálatainkhoz minden esetben T7 bakteriális vírust (T7 fágot), valamint polikristályos uracilt használtunk. Mindkét rendszert kromoszóma-modellként, ill. a kromoszómákban UV sugárzás által keltett sérülések modelljeként tekintettük. Kidolgoztuk a nagy tisztaságú és nagy koncentrációjú T7 fág-preparátum [2], valamint a standard optikai tulajdonságú uracilkristály-vékonyréteg [3, 4] -előállítás módját, ezek a metodikai fejlesztések teremtették meg az alapját eredményeink reprodukálhatóságának és gyakorlati felhasználásának.

1. *Monokromatikus UV-C sugárzás hatása:* A T7 fág-oldat besugárzásához 254 nm-nél emittáló kis nyomású Hg-gőz- (Germicid-) lámpát alkalmaztunk, és az UV-C sugárzás hatását a fágok pusztulása (inaktivációja) révén mértük. Az 1. ábrán tipikus mérési eredményünket, az ún. dózishatásgörbét mutatjuk be, ahol az egy fág által átlagosan elnyelt UV-fotonszám függvényében a túlélési hányados (n/n_0) természetes logaritmusát ábrázoltuk. (Itt n_0 a besugárzás előtt, n pedig a besugárzás után éppen maradt fágok számát jelöli.) A dózishatásgörbe azt az esetet reprezentálja, amikor minden egyéb módosító hatás kizárható, és csupán a fotonok által a fágban okozott változásokat „hívtuk elő”. Ezt az esetet értelmeztük

stochasztikus sugárkinetikai modellünk segítségével [5]. A dózishatásgörbét ennek alapján a következő összefüggéssel írtuk le:

$$P(t) = \exp\left\{-\frac{\alpha}{\gamma}[1 - \exp(-\gamma mt)]\right\} \quad (1)$$

ahol $P(t) = n/n_0$ (1a)
 az a valószínűség, amivel egy fág épen marad a t ideig tartó besugárzás után, α a fág sérülési, γ a fág egy sértett helyének a visszaalakulási valószínűségét jelenti egy elnyelt foton hatására, m pedig egy fág által időegység alatt átlagosan elnyelt fotonok száma.



1. ábra

A dózishatásgörbéből, ill. az értelmezéshez használt sugárkinetikai modellből a következő megállapítások, következtetések adódnak:

1. A T7 fágban igen nagy számú sérthető hely található, és ezek közül már egynek a sérülése is a fág inaktivációját okozza, azaz letális.
2. Az (1) jobb oldala egy Poisson-eloszlás várható értéke, tehát az $\ln(n/n_0)$ abszolút értéke megadja a besugárzott fágokban a sérülések átlagos számát.
3. Az adott besugárzási körülmények között az UV-C fotonok nemcsak sérülést okoznak, hanem hatásukra a sérülések egy része γ valószínűséggel vissza is alakul (direkt fotoreverzió).
4. Megfelelő kísérleti feltételek mellett igaz az, hogy $t \rightarrow \infty$ esetén a dózishatásgörbe α/γ értéknél telítésbe megy, azaz bármely hosszú besugárzás esetén is maradnak a rendszerben ép fágok.
5. A revertálható sérülések a fág-DNS-ben keletkező pirimidin-dimérek (pirimidin-fotoadduktumok) [6].

Kimutattuk, hogy

- az uracilkristály-vékonyrétegben UV-C sugárzás hatására ugyancsak pirimidin- (uracil-) dimérek jönnek létre [7], és a fotoreakció spektrofotometriás úton követhető: a polikristály elszíntelenedik, a 250–320 nm tartományban mért abszorpciója exponenciális függvény szerint csökken;
- a dimerizációs reakciót tekintve az uracilbázisok kristályon belüli konformációja különösen kedvező.

2. *Polikromatikus sugárzás, biológiailag hatásos UV-dózis:* Mind a T7 fagra, mind az uracilkristályra vonatkozó, monokromatikus sugárzással nyert eredményeinket kiterjesztettük polikromatikus sugárzás hatására is a következő feltétel segítségével: az egyes hullámhosszak által kiváltott inaktivációs/uracil-dimerizációs hatások összegződnek. A T7 fág-inaktiváció esetére e feltételnek kísérleti bizonyítékát szolgáltatottuk [8]. A CIE [9] által polikromatikus sugárzásra megadott biológiailag hatásos dózis (BED) gyakorlati dozimetriai célú definíciója is tartalmazza az előbbi feltételt:

$$BED = \sum_{\lambda} \sum_t E(\lambda) S(\lambda) \Delta\lambda \Delta t, \quad (2)$$

ahol $E(\lambda)$ a besugárzott teljesítmény spektrális eloszlását, $S(\lambda)$ pedig a kérdéses biológiai hatás spektrális érzékenységet jelenti. A (2) alapján tehát ha $E(\lambda)$ ismert (pl. pontos spektrométeres mérési eredmény áll rendelkezésre), akkor, $S(\lambda)$ -t is ismerve, a biológiai dózis kiszámítható.

Mind a T7 fág-inaktivációra [10], mind az uracil-dimerizációra [11] nézve széles spektrum-tartományban meghatároztuk $S(\lambda)$ -t, azaz a spektrális érzékenységet a hullámhossz függvényében.

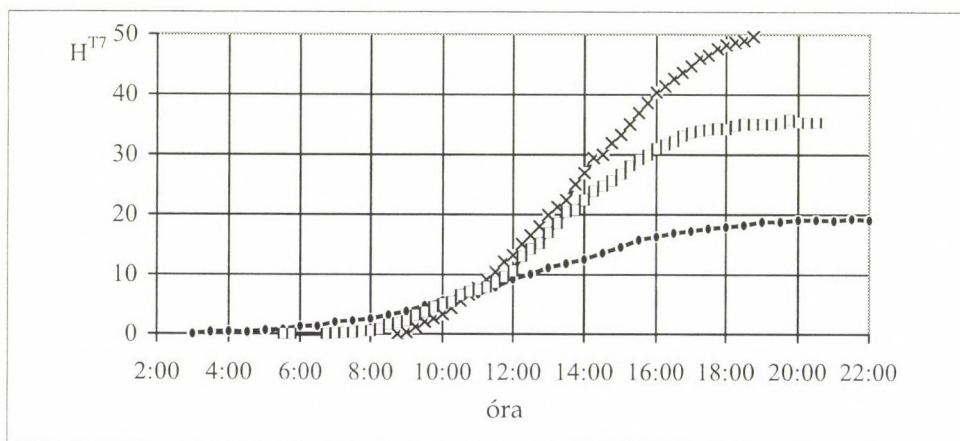
Megállapítottuk, hogy

- az érzékenység spektrális eloszlása mindkét hatás esetében nagyon hasonló a DNS-sérüléshez;
- az $S(\lambda)$ értékek az UV-B-tartományban (320 nm-től 280 nm-ig) 3 nagyságrendnyit növekszenek;
- (1a), ill. (2) tekintetbe vételével a DNS-sérülés biológiailag hatásos dózisának mérése visszavezethető a T7 fág inaktivációjának mérésére [12], azaz a biológiai dózis közvetlen mérésére mutattunk lehetőséget anélkül, hogy a rövid hullámhosszúságú UV-B-tartományban ($\lambda < 305$ nm) kevésbé megbízható spektrométeres mérési adatokra szükség volna;
- az uracil-dimerizáció, ill. a velejáró elszíntelenedés révén a biológiailag hatásos dózis ugyancsak közvetlenül meghatározható [11].

Tekintetbe véve a sugárkinetikai modellből levont, 2. pontban megfogalmazott következtetést, definiáltuk a T7 fág-inaktiváció dózisának egységét: egységnyi a biológiai dózis akkor, ha a fágokban a sérülések várható értéke 1, azaz $|\ln(n/n_0)| = 1$ [12].

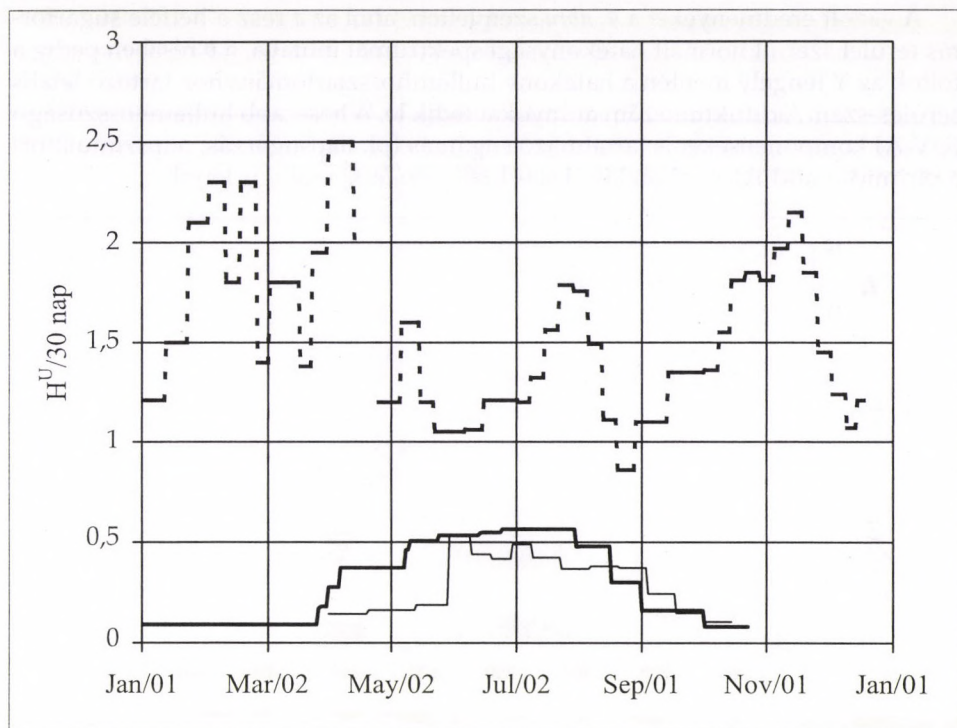
A T7 fág-rendszert, valamint a polikristályos uracilt megfelelő elrendezésben gyakorlati dózismérési célokra is felhasználtuk. E két dózismérő kifejlesztését és alkalmazását az EU támogatta két további DNS-alapú biológiai dózismérővel együtt. T7 fág-doziméter nagy érzékenysége miatt főként rövid távú, nagy pon-

tosságú mérésekhez, míg az uracil-dozimétert jó szállíthatósága, stabil kiképzése miatt hosszabb távú, több földrészen kihelyezve (nemzetközi együttműködésben) alkalmazzuk monitorozásra. Példaként a 2. ábra kb. a nyári napforduló tájékán mutatja egyetlen nap alatt a biológiailag hatásos dózis (T7-egységekben kifejezve) napi kialakulását három különböző mérőhelyen: Abiskóban (Svédország, 68° É; •-•-•), Magyarországon (48° É; □-□-□) és Nea Michanionán (Görögország, 34° É; x-x-x). Az ábrából kiolvasható, hogy az Északi-sarktól az Egyenlítő felé haladva a napsugárzásból származó biológiai (DNS-sérüléssel összefüggő) dózis – gyakorlatilag azonos nyári napon – egyre növekszik. Minthogy a DNS-sérülés és a bőrdaganatok keletkezése közti kapcsolat ma már kétségtelen [13], ez a mérési eredmény is azt igazolja, hogy a napozással nyári időben – különös tekintettel a kedvelt déli tengerparti üdülőhelyekre – óvatosan kell bánni.



2. ábra

A 3. ábra az 1997. évi (január 1-től december 31-ig) monitorozás eredményét ábrázolja: ez az ún. éves profil. A mérések kb. 2 hetenként váltott uracil-dózismérőkkel történtek, tehát a mérők állandóan ki voltak téve a környezeti sugárzásnak. E mérések a teljes bioszféra egész évi UV-sugárterheléséről adnak információt: a mérések Magyarországon, a Meteorológiai Szolgálat 8 mérőállomásán (vastag vonal), Sylt szigetén (Németország, 55° É; vékony vonal), valamint az Egyenlítő közelében, Kadunában (Nigéria, 10° É; szaggatott vonal) történtek. Az ábra jól demonstrálja az egyenlítői tájék igen nagyfokú UV-terhelését, ami részben a napállással (csaknem merőleges beesés), részben az igen vékony (pl. 220–230 DU) sztratoszferikus ózonréteg jelenlétével függ össze. Ezek az eredmények az élővilág nagyfokú adaptációs képességére hívják fel a figyelmet. Az élet itt az adott sugárzási feltételek (nagy UV-terhelés) mellett alakult ki, ennek megfelelően a fejlődésben olyan védekező mechanizmusok fejlődtek ki, amik az életet lehetővé teszik.



3. ábra

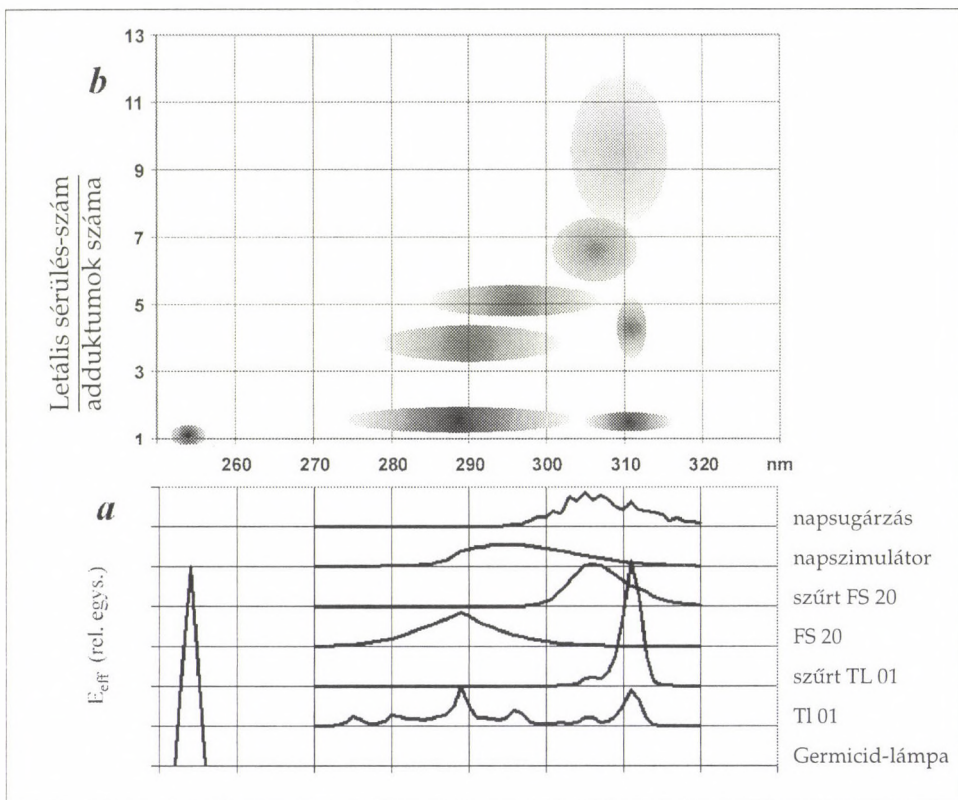
A T7 fág UV-sérülésének tanulmányozásából kiindulva kifejlesztettük a DNS-alapú biológiai dozimetriát, és kialakítottuk a T7 dozimétert. Különböző polikromatikus fényforrások felhasználásával

- közvetett módszerrel, az $|\ln(n/n_0)|$ mérése révén meghatároztuk a fágon belüli letális sérülések átlagos számát,
- közvetlenül pedig a pirimidin-dimérek és fotoadduktumok (röviden: adduktumok) számát határoztuk meg, e két fotoproduktumra specifikus immuno fluoreszcens módszerrel [15, 16].

Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy

- 254 nm (UV-C) besugárzás után a letális sérülések száma megegyezik az adduktumok számával: azaz letális sérülésszám/adduktum-szám ~ 1 ;
- ezáltal stochasztikus sugárkinetikai modellünk közvetlen igazolást nyert;
- minél több nagyobb hullámhosszúságú UV-komponenst tartalmaz a sugárforrás, annál nagyobb a letális sérülés-szám/adduktumszám aránya, azaz egyre növekszik a nem-adduktum típusú fotoproduktumok száma;
- napsugárzás mint sugárforrás alkalmazása esetén az arány kb. 10, tehát az adduktumok az összes letális sérülésnek csupán mintegy 10%-át teszik ki.

A vázolt eredményeket a 4. ábra szemlélteti, ahol az *a* rész a hétféle sugárforrás terület szerint normált hatékonysági spektrumát mutatja, a *b* részben pedig a foltok az Y tengely mentén a hatékony hullámhossztartományhoz tartozó letális sérülés-szám/adduktumszám arányokat fedik le. A hosszabb hullámhosszúságú (UV-A) komponenseket is tartalmazó sugárzás (pl. napsugárzás, napszimulátor) a pirimidin-adduktumokon kívül más letális sérüléstípusokat is létrehoz.



4. ábra

3. Extraterresztriális napsugárzás hatása: A földi légkör, elsősorban annak oxigén- és ózonkomponensei, kiszűri az eredeti nap-spektrumból a 285–290 nm-nél rövidebb hullámhosszúságú UV sugárzást, így a földfelszíni mérésekből származó ismereteink a jelenlegi napsugárzás DNS-t károsító hatására vonatkoznak.

A Nemzetközi Űrállomás hordozó részére rögzített külső besugárzó berendezésbe (EXPOSE) helyezett mintáinkat az extraterresztriális napsugárzás hatásának tesszük ki. A mintákat vagy szűrés nélkül, vagy meghatározott összetételű légkörön (meghatározott áteresztőképességű szűrőkön) keresztül éri a sugárzás, aminek intenzitása, spektrális összetétele ellenőrzött módon szabályozható, a besugárzási idő (a Föld egyszeri megkerülése során 15 perc) alatt egy automata

szerkezet biztosítja azt, hogy a sugárzás a mintákra merőlegesen essék. A kísérleti feltételek tehát jól definiáltak. Az adott körülmények között egy nemzetközi zsűri által összeállított kutatási konzorcium egyik kiválasztott tagjaként a DNS (ill. DNS-tartalmú biológiai rendszer vagy annak egy része), az extraterresztriális napsugárzás és az élet lehetséges, alapvető kapcsolatára keresünk választ:

- miként alakult ki az élet az oxigén (és ózon) nélküli ősi földi légkörben;
- lehetséges-e élet más égitesten is;
- lehetséges-e biológiailag releváns molekulák vagy molekuladarabok interplanetáris transzportja a világűrben (esetleg meteoritba zárva);
- fennmaradhat-e az élet, és milyen módon akkor, ha a földi légkör ózontartalma tovább csökken?

A felsorolt problémák közül az első három látszólag távoli (alapkutatási) kérdéseket tartalmaz, az utolsó azonban esetleg az egész élővilág földi létét érintheti, feltárhat pl. olyan védekezési mechanizmusokat, amelyek az elvékonyodott ózonsztréteg és a következményesen megnövekedett UV-B sugárzás esetén is elfogadható kockázatot biztosíthatnak.

*

A munkában az MTA–SOTE Biofizikai Kutatócsoport munkatársai vettek részt: Bérces A., Fekete A., Gáspár S., Gróf P., Kerékgyártó T., Módos K.

Irodalom

1. Brash, D. E., Rudolph, J. A. et al: A role for sunlight in skin cancer: UV induced p53 mutations in squamous cell carcinoma, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 88 (1991) 10124–10128.
2. Gáspár, S., Módos, K., Rontó, Gy.: Complex method for the determination of the physiological parameters of bacterium-phage systems. In: Fedina, L., Kanyár, B. et al. (szerk): *Adv. in Physiol. Sciences*, 34. Oxford, 1981, Pergamon, 141–147.
3. Fidy, J., Raksányi, K.: Spectroscopic and kinetic study of the UV photochemistry of uracil thin crystal layers. *Studia biophys.*, 71 (1978) 137–138.
4. Kerékgyártó, T., Gróf, P., Rontó, Gy.: Production and basic application of uracil dosimeters for measuring the biologically effective UV dose, *Centr. Eur. J. Occup. Env. Medicine*, 3 (1997) 143–152.
5. Rontó, Gy., Sarkadi, K., Tarján, I.: Zur Analyse der UV-Dosiswirkungskurven der T7-Phagen, *Strahlentherapie*, 134 (1967) 151–157.
6. Patrick, M. H., Rahn, R. O.: Photochemistry of DNA and polynucleotides: photoproducts. In: Wang, Y. S. (szerk): *Photochemistry and Photobiology of Nucleic Acids*, 2., New York, 1976, Acad. Press, 35–95.
7. Fidy J.: A konformáció szerepe a nukleotid bázisok UV fotodimerizációjában. Kandidátusi értekezés, 1980.
8. Rontó, Gy., Tóth, K., Gáspár, S., Csik, G.: Phage-nucleoprotein – psoralen interaction: quantitative characterisation of dark and photoreactions, *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.*, 12 (1992) 9–27.
9. CIE Research Note. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE J.*, 6 (1987) 17–22.
10. Rontó, Gy., Gáspár, S., Gróf, P., Bérces, A., Gugolya, Z.: Ultraviolet dosimetry in outdoor measurements based on bacteriophage T7 as a biosensor. *Photochem. Photobiol.*, 59 (1994) 209–214.
11. Gróf, P., Gáspár, S., Rontó, Gy.: Use of uracil thin layer for measuring biologically effective UV dose. *Photochem. Photobiol.*, 64 (1996) 800–806.
12. Rontó, Gy., Gáspár, S., Bérces, A.: Phages T7 in biological UV dose measurement, *J. Photochem. Photobiol. B. Biol.*, 12 (1992) 87–90.

13. Rontó, Gy., Bérces, A., Gróf, P. et al.: Monitoring of environmental UV radiation by biological dosimeters. *Adv. in Space Res.*, in press, (1999).
14. Clingen, P. H., Arlett, C.F., Rosa, L. et al.: Induction of cyclobutane pyrimidine dimers, pyrimidine(6-4)pyrimidone photoproducts and Dewar valence isomers by natural sunlight in normal human mononuclear cells., *Cancer Res.*, 55 (1995) 2245–2248.
15. Fekete, A., Vink, A. A., Gáspár, S. et al.: Assessment of the effects of various UV sources on inactivation and photoproduct induction in phage T7 dosimeter, *Photochem. Photobiol.*, 68 (1998) 527–531.
16. Fekete, A., Vink A. A., Gáspár, S. et al.: Influence of phage proteins on formation of specific UV DNA photoproducts in phage T7. *Photochem. Photobiol.*, in press (1999).

VARRÓ SÁNDOR, FARKAS GYÖZŐ

Diszkrét szerkezetű elektron- és fény spektrumok megjelenése szuperintenzív lézerterekben

A nagy intenzitású fény és anyag kölcsönhatásakor fellépő nemlineáris jelenségek kísérleti tanulmányozása a lézerek felfedezése után vált lehetségessé az 1960-as években. Ezekkel a fényforrásokkal biztosítható olyan nagy foton-sűrűség, hogy az anyagot alkotó részecskék (atomok, molekulák vagy egyszerűen elemi töltések) számottevő valószínűséggel egyszerre több fotonnal is kölcsönhatásba kerüljenek. E jelenségek elméleti értelmezése érdekében a fény-elektron kölcsönhatás leírásához új, nemperturbatív módszereket, illetve modelleket kellett kidolgozni, mivel a kvantum-elektrodinamika hagyományos módszereivel sok esetben csak igen körülményesen vagy egyáltalán nem lehet célt érni. Megjegyezzük, hogy e témakörben már több összefoglaló cikk és könyv is megjelent [1–9], amelyekben szisztematikusan tárgyalják az intenzív lézerterekben lejátszódó folyamatokat. E folyamatokat természetesen módon két csoportba sorolhatjuk: *lézer által indukált folyamatok* (pl. többfotonos ionizáció, disszociáció, fémek többfotonos felületi fotoeffektusa, magasrendű felharmonikus-keltés szabad elektronon, gázokban vagy fémfelületen); *lézer által módosított folyamatok* (pl. elektron szóródása atomon lézerefény jelenlétében, Röntgen-szórás atomi elektronon, ill. Auger-effektus lézerefény jelenlétében). A második típusú folyamatok – ellentétben az első típusúakkal – a fény hatása nélkül is végbemehetnek. Erre egy jellegzetes példa az indukált többfotonos inverz fékezési sugárzás, amely a lézeres plazmafűtés egyik alapfolyamata [10]. Itt az elektron a plazmában lévő ionon szóródik, miközben kezdeti E energiája az $E_n = E + nh\nu$ végállapot energiára változik, ahol n egész szám, ν az alkalmazott lézerfotonok frekvenciája, h pedig a Planck-féle állandó. A szórt elektron energiaspektruma *diszkrét szerkezetű*, a $h\nu$ fotonenergiával elválasztott lokális maximumokat (csúcsokat) tartalmaz.

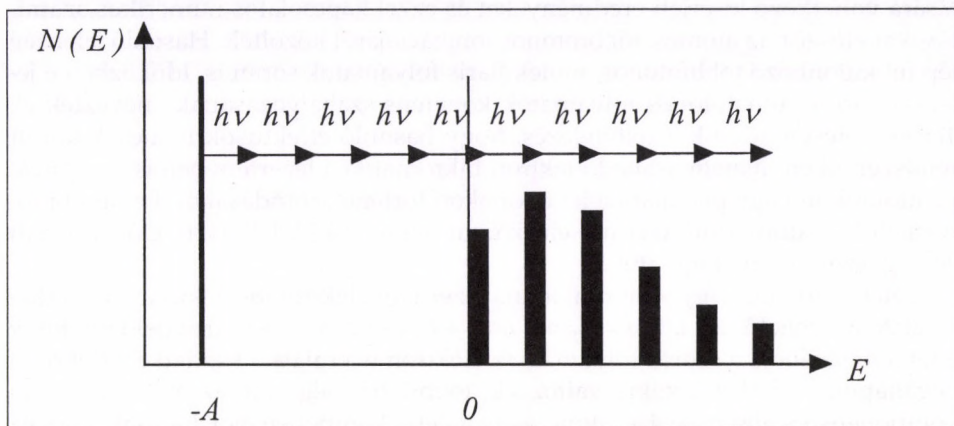
A fent említett folyamatok mindegyikére érvényes, hogy a nemlinearitás mértékét a μ dimenziótlan intenzitásparaméter nagyságrendje döntően befolyásolja. E paraméter fizikai jelentését könnyen megkaphatjuk, ha megoldjuk a lézerteret (dipólközelítésben) reprezentáló $E(t) = E_0 \sin \omega t$ oszcilláló elektromos térben mozgó elektron Newton-egyenletét. Azt találjuk, hogy az elektron egyenletes transz-

láció mozgására egy ω frekvenciás oszcilláció tevődik, melynek sebesség-amplitúdója μc , kitérés amplitúdója pedig $\mu(c/\omega) = \mu(\lambda/2\pi)$. Itt c a vákuumbeli fénysebesség, ω és E_0 a lézertér frekvenciája, ill. amplitúdója (λ a sugárzás hullámhossza), valamint $\mu = eE_0/mc\omega$ (e , m az elemi töltés, ill. az elektron tömege). μ numerikus értéke a $\mu = 10^{-9} I^{1/2} \lambda$ formula alapján számolható, ahol I a lézerfény intenzitása W/cm^2 -ben, és λ -t mikronokban mérjük. Ha μ egységnyi nagyságrendű, akkor az elektron sebességamplitúdója megközelítheti a fénysebességet (ekkor persze a fenti, nem relativisztikus megfontolások érvényüket veszítik). Optikai hullámhosszakra ez az $I \sim 10^{18} W/cm^2$ kritikus intenzitásnál teljesül. Hasonlóképpen, ha μ egységnyi nagyságrendű, akkor az elektron kitérés amplitúdója a beeső fény hullámhosszával már összemérhető, s ekkor a kisugárzott tér fázisában fellép egy ω frekvenciás, szinuszos moduláció. Következésképpen a szórt fény spektrumában megjelennek az $\sim n\omega$ frekvenciájú felharmonikusok is, amelyek relatív erősségét a μ intenzitásparaméter határozza meg [1, 2, 11, 12, 13]. Ez a jelenség a nemlineáris Thomson- (illetve Compton-) szórás, amely a legalapvetőbb példa magasrendű felharmonikusok keltésére. Érdekesképpen megemlíthetjük, hogy nemrégén kísérletileg közvetlenül kimutatták a kvantum-elektrodinamika által előrejelzett foton-foton szórás [14] *szuperintenzív* lézerfény és gamma-kvantumok ütköztetésével. Napjainkban már számos laboratóriumban (köztük a közeljövőben a miénkben is) előállítható $\sim 10^{20} W/cm^2$ intenzitású lézersugárzás, aminek alkalmazásával akár az optikai párkeltés is tanulmányozható. A különböző közegekben terjedő lézernyalábok erősen abszorbeálódnak, ez a kísérletekben jelentős nehézségek forrása. Érdekes, hogy még a vákuumban terjedő, fókuszált lézernyaláb intenzitásának is van abszolút határa, ugyanis ha a lézer elektromos térerőssége eléri a $\sim 10^{16} V/cm$ kvantum-elektrodinamikai kritikus értéket, akkor előfordulhat, hogy a nyaláb energiája már egy hullámhossznyi távolságon teljesen elnyelődik az elektron-pozitron párok keletkezése következtében. Az ehhez szükséges kritikus intenzitás $\sim 10^{30} W/cm^2$ nagyságrendű, ennek elérése a közeljövőben nem várható. Az $e^2/a_B^2 \sim 10^8 V/cm$ Bohr-térerősségnek megfelelő vagy ennél nagyobb intenzitású lézerek azonban már sok éve használatosak.

Sokfotonos fotoeffektus fémfelületen

A sokfotonos fotoeffektus kutatásának – miután azt elsőként mutattuk ki – intézetünkben nagy hagyománya van, korábbi eredményeink összefoglalása a [9]-es referenciában található. Általában arany céltárgyat használtunk, amelyet Nd-üveg lézer pikoszekundumos impulzusaival világítottunk meg, és mértük a kilépő elektronok teljes áramsűrűségének az intenzitástól és a polarizációtól való függését. Mivel az arany kilépési munkája $\sim 5 eV$, ugyanakkor a fotonenergia $\sim 1,17 eV$, az elektronok kilépéséhez minimálisan 5 foton abszorpciója szükséges. A perturbációs számítás szerint ebben az esetben a j elektronáram az intenzitás 5-ik hatványával arányos: $j \propto I^5$. Az intenzitás növelésével eljutunk a nem perturbatív

tartományba, ekkor a hatványtörvény helyett egy bonyolultabb függés adódik: $j(f \propto I)$, aminek konkrét alakját először mi határoztuk meg. Újabbán a kilépő elektronok energiaspektrumát is sikerült meghatározni [15], és azt észleltük, hogy a kilépési küszöb fölött is számos, egyenközi, a fotonenergiával elválasztott csúcs jelenik meg már viszonylag mérsékelt intenzitásoknál is. Ezt a jelenséget az 1. ábrán szemléltetjük.



1. ábra. A fémből kilépő elektronok $N(E)$ száma az E energia függvényében.

A küszöb fölötti csúcshoz tartozó téglalapok jelképezik. Ez esetben a fotoeffektushoz szükséges fotonok minimális száma 5, vagyis az $nh\nu > A$ feltétel az $n \geq n_{\min} = 5$ esetben teljesül, ahol A a kilépési munka. A Fermi-szintet a vastag függőleges vonal, a vákuumszintet a vékony függőleges vonal jelöli

Talán a legérdekesebb mérési eredményünk szerint [15] a viszonylag kis, $\sim 10^{10} \text{ W/cm}^2$ intenzitású, 8 pikoszekundumos Nd-üveg lézerimpulzusokkal aranytargeten keltett elektronok jelentős része igen magas (több 100 eV) energiájú. Ha figyelembe vesszük, hogy ez esetben a fotonenergia $h\nu = 1,17 \text{ eV}$, akkor eszerint többszázadrendű fotonabszorpció történt. A kísérletet más laboratóriumokban is megismételték, és szintén észleltek anomálishan magas energiájú elektronokat. Az ilyen, igen magasrendű, direkt sokfotonos abszorpció valószínűségére a korábban használatos, általánosan elfogadott, nem perturbatív modellek szerint [16] is gyakorlatilag zérus adódik, a fotoáramot teljes mértékben a közvetlenül az ionizációs küszöb fölötti kis energiás elektronok határozzák meg. Több szerző a nagy energiás elektronok megjelenését a fémfelületet elhagyó elektronsomag Coulomb-robbanásával magyarázta [17]. Ez a mechanizmus azonban nem ad számot az elektronspektrum ionizációs küszöbhez közeli részében kimutatott, egymástól $h\nu$ energiányi távolságra elhelyezkedő csúcsok létezéséről. E probléma megoldására egy teljesen új típusú, kollektív modellt dolgoztunk ki, amely a fémfelületen a lézer által indukált oszcilláló kettősréteg-hatását veszi figyelembe [18, 19], s az így számolt elektronspektrumok a mérési eredmények minden jellegzetességét visszaadják.

Elektronok szóródása intenzív bikromatikus lézerefényben

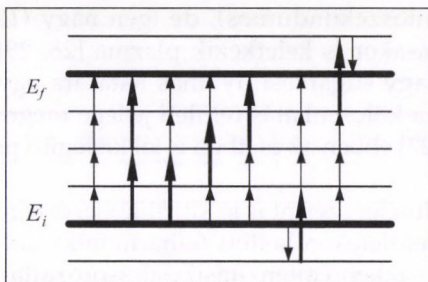
Ha a lézerefény elektromos vektora két olyan komponensből tevődik össze, amelyek frekvenciái összemérhetők, akkor a kilépő elektron energiaspektruma nagymértékben módosítható az említett két térkomponens relatív fázisának változtatásával. Intenzív bikromatikus lézerefény és atomi elektron kölcsönhatására vonatkozó kísérleti eredményeket és ezzel kapcsolatos numerikus számításokat először az atomok többfotonos ionizációjáról közöltek. Hasonló jelenség lép fel különböző többfotonos, molekuláris folyamatok során is. Időközben e jelenségekort a „többfotonos folyamatok koherens szabályozásának” nevezték el. Természetesen adódik a feltételezés, hogy hasonló effektusok nemcsak kötött rendszerekben, hanem szabad elektron bikromatikus lézerefényben is fellépnek, pl. atomokon vagy plazmában lévő ionokon történő szóródásakor. Ez utóbbi folyamatot – tudomásunk szerint – először mi elemeztük [20]. Illusztrációképpen itt egy egyszerű esetet tárgyalunk.

Tételezzük fel, hogy a bikromatikus lézerefény elektromos vektora a következő alakban vehető fel: $E(t) = E_1 \sin(\omega t) + E_2 \sin(2\omega t + \phi)$. Arra például, hogy e tér jelenlétében, a szórás folyamán az elektron energiája a kezdeti E értékről a végállapot $E + 4\hbar\omega$ értékre változzék, több lehetőség van: az ω frekvenciájú komponensből abszorbeál 4 fotont, vagy a 2ω -s komponensből 2 fotont, vagy ez utóbbiból egyet, és az ω frekvenciás fotonból kettőt stb. Látjuk tehát, hogy már egy viszonylag alacsonyrendű folyamathoz is meglehetősen sok közbülső (virtuális) folyamat tartozik. E közbülső folyamatok kvantummechanikai amplitúdói interferálnak, s a teljes amplitúdó a ϕ kezdő fázis bonyolult függvénye lesz. Néhány ilyen részfolyamat energetikai sémáját a 2. ábrán szemléltettünk. Az n -edrendű foton abszorpció, illetve emissziós folyamatok differenciális σ_n hatáskeresztmetszeteire számításaink szerint a fázisszög különböző értékeire több esetben minőségileg is különböző elektron-spektrumok adódnak [21–24].

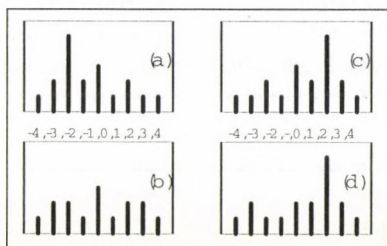
A 3. ábrán argonatomokon CO_2 lézersugárzásban szórt elektronok energiaspektruma látható a ϕ kezdő fázis négy értékére [21]. Az ábrán nem használtunk pontos numerikus értékeket, mindössze illusztrációnak szánjuk a spektrum ϕ -től való függése bemutatására.

Magasrendű felharmonikusok keltése

Magasrendű felharmonikusok keletkezését fémfelületen először intézetünkben észleltük [25] $\sim 2 \text{ GW/cm}^2$ intenzitású Nd-üveg lézerefény aranytargeten történő szóródása során. A szórt fény spektrumában a $\nu' = n\nu$ frekvenciáknál éles maximumokat figyelhetünk meg, ahol $n = 2, 3, 4, \dots$. A rövid (pikoszekundumos) és viszonylag alacsony intenzitású impulzusok használatával sikerült elkerülnünk, hogy a fémfelületen plazma keletkezzék. Eredményeink publikálásával csaknem egyidejűleg jelent meg egy elméleti cikk [26], amelyben a felharmonikusok intenzitáseloszlását perturbációs számítással határozták meg. Ha e számításokat a fenti



2. ábra. Az $E(t) = E_1 \sin(\omega t) + E_2 \sin(2\omega t + \phi)$ elektromos térerősségű lézertényben szóródó elektron energiája általános esetben az E_i kezdeti értékről az $E_f = E_i + n\hbar\omega$ végső értékre változik, ahol n egész szám. Az n -edrendű folyamat kvantummechanikai amplitúdója olyan részfolyamatok amplitúdóinak összege, amelyek a fenti energiamérleget kielégítik. Az ábra az $n = 4$ esetre néhány ilyen részfolyamatot mutat be. A vastag vízszintes vonalak a kezdeti és végállapotot, a vékony vízszintes vonalak a virtuális állapotokat reprezentálják. A vastag nyilak a 2ω frekvenciájú, míg a vékony nyilak az ω frekvenciájú fotonok abszorpcióját, illetve emisszióját ábrázolják

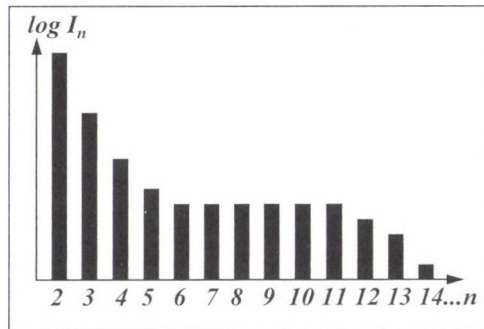


3. ábra. A bikromatikus lézertényben atomon szórt elektronok vázlatos spektruma. A vízszintes tengelyen az abszorbeált (emittált) fotonok számát tüntettük fel, a függőleges tengelyen az egy adott irányban szóródott elektronok száma van megadva relatív egységekben, a fázisszög következő értékeire:
 $\phi = \pi/4$ (a); $\phi = \pi/2$ (b); $\phi = 3\pi/4$ (c); $\phi = \pi$ (d)

kísérlet leírására alkalmazzuk, akkor az egymást követő felharmonikusok maximális intenzitásai körülbelül 4 nagyságrendnyi esést mutatnak a harmonikus index növekedésével (vagyis $I_{n+1}/I_n \sim 10^{-4}$, $n = 2, 3, 4, \dots$). Ugyanakkor az ötödrendig kimért spektrumban a maximumok egy mindössze ~ 3 nagyságrendet átfogó sávban találhatók. Világos tehát, hogy a perturbatív megközelítés nem ad kielégítő eredményt, ezért mi egy új, nem perturbatív módszert dolgoztunk ki [27], amelynek alapján a kísérleti spektrumokkal 1 nagyságrenden belüli egyezést kaptunk. A felharmonikusok keltésében szerepet játszó alapfolyamatok lényegesen bonyolultabbakká válnak, ha a kölcsönhatási idő alatt a felületen plazma keletkezik, amely a mérés ideje alatt jelentősen expandálhat. Ez már viszonylag mérsékelt intenzitásoknál is bekövetkezik, amennyiben a lézer impulzushossza kellően nagy. Ter-

mésztesen rövid (femtosekundumos), de igen nagy (10^{17} W/cm²) intenzitású impulzusok alkalmazásakor is keletkezik plazma [28, 29], azonban ez a lézernyaláb által kifejtett nagy sugárzási nyomás hatására egy igen vékony rétegbe komprimálódik, tehát a kölcsönhatás felületi jellege megmarad, s így a kidolgozott felületi módszer [27] ebben az esetben is jól kielégítő pontossággal alkalmazható [30].

A kísérletek és az elmélet szerint is jó közelítéssel érvényes mind az atomnyalábokon, mind a fémfelületeken keltett felharmonikusok spektrumára, hogy a spektrum egy erősen csökkenő intenzitású csúcissorozattal kezdődik, ezután egy hosszú *plateau* következik, amely egy igen éles levágásban végződik. A korábbi elméleti munkák csaknem kizárólag a megfelelő Schrödinger-egyenlet közvetlen numerikus integrálásán alapultak, amelyhez szuperkomputerekre volt szükség. Mi olyan *analitikus* módszert dolgoztunk ki, amelynek alapján származtatható a fényszórásra vonatkozó *Kramers–Heisenberg-formula többfotonos általánosítása* [31, 32], s ebből szintén adódnak a felharmonikus spektrumok fentebb említett jellegzetességei. A 4. ábrán egy tipikus felharmonikus spektrum vázlatos képe látható. Ezen a *plateau*-t, kissé túlzóan, teljesen azonos intenzitású csúcsok sorozataként ábrázoltuk. Megjegyezzük, hogy az atomokon keltett felharmonikusok spektrumában – az alapállapot inverziós szimmetriája miatt – csak a páratlan indexű komponensek szerepelnek, a fémfelület esetében – e szimmetria hiányában – nincs ilyen kiválasztási szabály, s ezért itt a páros indexű komponensek is fellépnek. A 4. ábrán bemutatott spektrum erre az általános esetre vonatkozik.



4. ábra. A magasrendű felharmonikusok vázlatos intenzitáseloszlása

A 4. ábrán a *plateau* az $n = n_0 = 6$ -os indextől az $n = n_c = 11$ -es indexig tart, ahol az éles levágás megkezdődik. Számos kísérletben az n_c kritikus index megközelítően százhoz közel esik, s ez azt jelenti, hogy a felharmonikusok $v'_{max} = n_c v$ maximális frekvenciája már a vákuum ultraibolya-tartományba esik. Így a felharmonikusokat keltő lézerek frekvenciáját változtatva, ez a „hangolás” átkonvertálható egy sokkal magasabb frekvenciájú tartományba. Ez a lehetőség a modern lézeres spektroszkópiában új távlatokat nyitott, különös tekintettel arra,

hogy napjainkban ezzel a módszerrel már sikerült elérni a lágy röntgentartományt is.

A *plateau* jelenléte – amint azt elsőként javasoltuk a [33] számú közleményünkben – felhasználható *extém rövid, attoszekundumos* ($asec = 10^{-18} sec$) impulzusok keltésére. Képzeljük el, hogy alkalmas szűrők segítségével a felharmonikus spektrumból kivágjuk az n_0 -nál kisebb és az n_c -nél nagyobb indexű komponenseket. A maradék (vagyis a *plateau*-hoz tartozó) komponensek intenzitása jó közelítéssel azonos, tehát elektromos térerősségük egy adott polarizációjú szuperpozíciója a következőképpen írható le:

$$E(t) = \sum_{n_0}^{n_c} \bar{E} \cos(n\omega t + \phi_n).$$

Amennyiben a ϕ_n fázisok csatolva vannak, vagyis $\phi_{n+1} - \phi_n \approx \text{állandó}$, akkor megvalósul az összelebegés, teljesen hasonlóan a rövid lézermimpulzusok előállítására már régóta használt móduscsatoláshoz, csak hogy itt ez sok nagyságrenddel kisebb időskálán történik. Ennek következtében az eredő $E(t)$ tér végül is egy *extrém rövid* impulzusokból felépülő impulzussorozat lesz. Amennyiben a *plateau* kellően hosszú, vagyis $n_c - n_0$ elég nagy, akkor egy-egy ilyen impulzus τ hossza akár az attoszekundumos tartományba eshet. Az alábbi táblázatban példaképpen összefoglaltuk nemesgáz-atomsugarakon Nd-üveg lézerral keltett felharmonikusokra vonatkozó néhány korábbi kísérletben mért n_0 és n_c értékeket és az ezek alapján általunk kiszámított τ impulzushosszakat.

1. táblázat

A τ impulzushossz értéke néhány n_0 minimális és n_c levágási indexre

| Gáz | n_0 | n_c | $\tau [asec]$ |
|-----|-------|-------|---------------|
| Xe | 5 | 21 | 97 |
| Kr | 5 | 25 | 56 |
| Ne | 13 | 53 | 38 |

Az 1. táblázatban szereplő τ értékek mindegyike igen kicsiny, kisebbek a τ_B Bohr-időnél, amelyet a legelső Bohr-pálya kerületének és az elektron sebességének a hányadosaként definiálunk: $\tau_B = 2\pi a_B / v_B \approx 137 asec$. Ez jól mutatja, hogy az imént vázolt elv alapján olyan kísérleti technika fejleszthető ki, amellyel lehetséges extrém gyors folyamatok dinamikájának részletes tanulmányozása. Megjegyezzük, hogy az általunk felvetett ezen új fizikai jelenség a közelmúltban igen széleskörű, nemzetközi elméleti és kísérleti kutatások sorát indította el.

Irodalom

- [1] Mitter, H.: *Acta Phys. Aust. Suppl.*, XIV, (1975) 395.
- [2] Ritusz, V. I., Nyikisov, A. I.: *Trudü Inszt. im. Lebegyeva*, (1979) 111.
- [3] Varró S.: *Magyar Fiz. Folyóirat*, XXXI (1983) 399.
- [4] Ehlotzky, F.: *Canad. J. Phys.*, 63 (1985) 907.
- [5] Nyikisov, A. I., Ritusz, V. I.: *Trudü Inszt. im. Lebegyeva*, 168 (1986).
- [6] Faisal, F. H. M.: *Theory of multiphoton processes.*, Plenum, New York, 1987.
- [7] Varró S.: *Magyar Fiz. Folyóirat*, XXXVI (1990) 409.
- [8] Mittleman, M. H.: *Theory of laser-atom interactions.* Plenum, New York, 1993.
- [9] Farkas, Gy.: In: J. H. Eberly and P. Lambropoulos (eds.): *Multiphoton processes.* Wiley and Sons, New York, 1978. 81.
- [10] Bunkin, F. V., Fedorov, M. V.: *JETP* 22, (1965) 844.
- [11] Eberly, J. H.: *Progress in Quantum Optics VII.* North-Holland, Amsterdam, 1969. 361.
- [12] Englert, T. J., Rinehart, E. A.: *Phys. Rev.*, A28 (1983) 1539.
- [13] Varró S., Ehlotzky, F.: *Z. Phys.*, D22 (1992) 619–628.
- [14] Burke, D. et al.: *Phys. Rev. Lett.*, 79 (1997) 1626.
- [15] Farkas, Gy., Tóth, Cs.: *Phys. Rev.*, A41 (1990) 4123.
- [16] Bunkin, F. V., Fedorov, M. V.: *JETP* 21 (1965) 896.
- [17] Petite, G. et al.: *Phys. Rev.*, B45, (1992) 1221.
- [18] Varró, S., Ehlotzky, F.: *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 30 (1997) 3071.
- [19] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Phys. Rev.*, A (1998) 663.
- [20] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Phys. Rev.*, A47 (1993) 715.
- [21] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Opt. Commun.*, 99 (1993) 177.
- [22] Varró, S., Ehlotzky, F.: *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 28 (1995) 2729.
- [23] Varró, S., Ehlotzky, F.: *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 28 (1995) 1613.
- [24] Varró, S., Ehlotzky, F.: *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, (1997) 1061.
- [25] Farkas, Gy., Tóth, Cs.: *Phys. Rev.*, A46 (1992) R3605.
- [26] Mishra, A., Gersten, J. I.: *Phys. Rev.*, B45 (1992) 8665.
- [27] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Phys. Rev.*, A49 (1994) 3106.
- [28] Von der Linde, D. et al.: *Phys. Rev.*, A52 (1995) R25.
- [29] Kohlweyer, S. et al.: *Opt. Commun.*, 11, (1995) 431.
- [30] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Phys. Rev.*, A54 (1996) 3245.
- [31] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Canad. J. Phys.*, 71 (1993) 340.
- [32] Varró, S., Ehlotzky, F.: *Nuovo Cim.*, D15 (1993) 1371.
- [33] Farkas, Gy. and Tóth, Cs.: *Phys. Lett.*, A168 (1992) 447.

Multi-GeV-os lézergyorsítók és TW/cm²-es röntgenlézerek

A lézerekkel történő részecskegyorsítás kutatása ma több irányban fejlődik. Ennek oka a villamos töltéssel rendelkező részecskék és elektromágneses sugárzás igen összetett, nemlineáris kölcsönhatásainak mind részletesebb megismerése. Tekintettel a vizsgált folyamatok különbözőségére, itt csak az általunk elért eredményekről számolunk be, a nemlineáris kvantum-elektrodinamika keretein belül. Hasonlóképpen az intenzív röntgensugárzást eredményező kölcsönhatási folyamatok közül is csak az általunk korábban ismertetettet tárgyaljuk.

A régen várt, elsősorban lézerek segítségével történő, forradalmi változások a részecskegyorsításban olyan fizikai folyamatok létezését előfeltételezik, amelyekben lehetséges fotonok, vagyis elektromágneses sugárzás elnyelése töltött részecskék által. Az 1922-ben Compton által felállított – egy foton és egy szabad elektron kölcsönhatására érvényes – kinematikai feltételek, illetve az energia és impulzus megmaradásának törvényei azonban azt bizonyítják, hogy a foton elnyelése szabad elektron által lehetetlen, amit az alacsony intenzitású sugárzással végzett kísérletek folyamatosan bizonyítanak. Az 1960-as években kifejlesztett, intenzív sugárzást adó lézerek megjelenésével párhuzamosan a nemlineáris, többfotonos kölcsönhatási folyamatok kutatása került előtérbe, abban a reményben, hogy ilyen fizikai jelenségekben a szabad elektronok fotonokat nyelhetnek el. Végül 1981-ben Körmendi Ferenc [1] állította fel először azt a kinematikai relációt, amely bebizonyította, hogy – a Compton-szórással ellentétben – a szabad elektron több fotonnal való egyidejű kölcsönhatásában egy vagy több foton végleg elnyelődhet, az energia- és impulzus-megmaradási törvénnyel összhangban. A kiszámított átmeneti valószínűség [2] azt mutatja, hogy a fotonok elnyelése szabad elektronok által sokkal nagyobb differenciális hatáskeresztmetszetű, mint a Compton-szórás. Ezek az eredmények lehetővé tették a lézeres gyorsítók egy típusa jellegzetességeinek meghatározását [3], valamint relativisztikus elektronok és intenzív lézersugárzás kölcsönhatásán alapuló röntgenlézerek modellezését [4].

Tételezzük fel, hogy kezdetben nyugvó, p_i négyes impulzusú elektron kölcsönhatásba lép egy kollimált, egymódusú lézersugárzással, melynek fontjai k_i négyes impulzusúak. Ekkor olyan kölcsönhatás léphet fel, melyben az elektron n foton elasztikusan szór egy módusba, a beeső sugárzás terjedési irányához vi-

szonyítva bizonyos szög alatt, s egyidejűleg N fotont nyel el. A négyes impulzus megmaradását a következő kinematikai reláció adja meg:

$$p_i + nk_i + Nk_i = p + nk, \quad (1)$$

ahol p az elektron végső négyes impulzusa, k pedig az n elasztikusan szórt foton négyes impulzusa. (1)-ből meghatározhatjuk a szórt fotonok n számát. Amikor egy szabad elektron a fent leírt módon fotonokat nyel el, a P átmeneti valószínűség egységnyi időben a következő képlettel fejezhető ki [2]:

$$P' = P_n P'_N = K^n P'_N, \quad (2)$$

ahol P_n az n foton elasztikus szórásának valószínűsége, P'_N eddig az egységnyi időben történő N foton elnyelésének valószínűsége. Mivel a (2) képletben n minimális nagyságrendje $n = 10^2$, K^n , és így P' csakis akkor különbözik mérhetően nullától, ha $K = 1$. Ez a feltétel megadja azt az I_c küszöbintenzitást, amely szükséges a sugárzás elnyelésének beindításához. A következőkben ezeket az eredményeket használjuk fel a lézergyorsítók és röntgenlézerek jellegzetességeinek meghatározására.

Lézergyorsítók

Amikor egy előzőleg relativisztikus sebességre gyorsított elektroncsomag kölcsönhatásba lép egy ugyanabba az irányba terjedő lézerimpulzussal, az elektronok előre gyorsulnak, ha N foton elnyelése mellett az n foton hátrafelé szóródik. Megjegyezzük, hogy a mai gyorsítóknál is alkalmazott külső mágneses tér segítségével az elektronok nem előre gyorsulását hatásosan meg lehet akadályozni. Például $E_i = 200$ MeV kezdő energiájú elektronok és 1 eV energiájú fotonok, valamint kétfotonos, $N = 2$, abszorpció mellett a $K = 1$ feltételből a szükséges beeső lézersugárzásra a következő küszöbintenzitást kapjuk [3]:

$$I_c = 3,6 \cdot 10^{17} \text{ W/cm}^2,$$

ami jóval a mai lézerek csúcsintenzitása alatt van.

A lézergyorsítók egyik legfontosabb jellegzetessége a gyorsítási gradiens, dE/dt , vagyis az elektron egységnyi úthosszon megnövelt energiája. Ezt úgy határozzuk meg, hogy az egységnyi időre vett átmeneti valószínűséget megszorozzuk az elnyelt két foton 2ε energiájával, amiből az energianövekedés egységnyi időben [3]:

$$dE/dt = 4r_0^2 h^3 c^2 I_i^2 \varepsilon^{-4}, \quad (3)$$

ahol r_0 az elektron klasszikus sugara, h a Planck-állandó, c a fény sebessége, I_i a beeső sugárzás intenzitása. Figyelembe véve, hogy dt a gyorsítási út végén álló detektor által mért dE energianövekedésre vonatkozik, míg ez a sugárzási energia valójában egy korábbi dt_i időintervallumban nyelődött el, a két időintervallum

$$dt = dt_i (1 - B) \quad (4)$$

összefüggésben áll egymással, ahol

$$B = [1 - (E_0/E)^2]^{1/2},$$

$E_0 = m_0 c^2$ a nyugvó elektron energiája. Ugyanakkor dt_r a megtett út $d\ell$ elemi hossz-szával és az erre vonatkozó $v = Bc$ sebességgel van meghatározva,

$$dt_r = d\ell/(Bc). \quad (5)$$

Így a gyorsulási gradiens (3), (4), (5)-ből

$$dE/d\ell = 4r_0^2 h^3 c I_i^2 \varepsilon^{-4} B^{-1} (1 - B). \quad (6)$$

Mivel B a (6) képletben E -től függ, a fenti egyenletet integrálhatjuk, s ennek eredményeképpen az elért végső E_f energiára az

$$E_f = (E_i^3 + 6r_0^2 h^3 c I_i^2 \varepsilon E_0^2)^{1/3} \quad (7)$$

kifejezést kapjuk. $I_i = 2 \cdot 10^{18} \text{ W}/\text{cm}^2$ intenzitású, 1 ps időtartamú, 1 J energiájú, 1 eV foton energiával bíró lézermimpulzus az $E_i = 200 \text{ MeV}$ energiára előgyorsított elektronokat például $\ell = 92,3 \text{ m}$ úthosszon $E_f = 48,6 \text{ GeV}$ végső energiáig gyorsíthatja fel. Nagyobb, de ma már elért $I_i = 10^{20} \text{ W}/\text{cm}^2$ lézerintenzitás mellett a végső elektronenergia eléri az $E_f = 10^3 \text{ GeV}$ értéket. A közeljövőben megvalósítható, $I_i = 10^{24} \text{ W}/\text{cm}^2$ intenzitás és $\ell = 10^3 \text{ m}$ úthossz esetében $E_f = 10^6 \text{ GeV}$. Ezeket a lehetőségeket összehasonlíthatjuk a világ legnagyobb lineáris elektrongyorsítója, a SLAC jellegzetességeivel, ahol az $\ell = 3 \cdot 10^3 \text{ m}$ úthosszon gyorsított elektronok végső energiája $E_f = 50 \text{ GeV}$.

Röntgenlézerek

Amikor eléggé intenzív optikai lézersugárzás lép kölcsönhatásba relativisztikus elektronokkal, és azok egyidejűleg n fotont elasztikusan szórnak az elektron saját koordináta-rendszerében, valamint N fotont nyelnek el az (1) relációval összhangban, a szórt fotonoknak a Doppler-effektus következtében jelentősen megnövekedhet az energiájuk, elérve a röntgensugárzási tartományt.

Tételezzük fel, hogy egy egymódusú, kollimált, lineárisan polarizált lézersugárzás θ_i szög alatt lép kölcsönhatásba E energiájú, egy irányba mozgó elektronokkal. A Doppler-effektus következtében az elektron saját koordináta-rendszerében elasztikusan szórt n foton ε energiája az

$$\varepsilon_D = \varepsilon \frac{1 - B \cos \theta_i}{1 - B \cos \theta_f} \quad (8)$$

értékre módosul, ahol θ_f az elektronnyaláb mozgási iránya és a szórt fotonok terjedési iránya által bezárt szög. Ha például a $\theta_i = 25^\circ - 30^\circ$ szög alatt beeső, 1 eV

energiájú fotonok 10–12 MeV energiájú elektronokon előre szóródnak, $\theta_f = 0^\circ$, a (8) képlet alapján a szórt fotonok energiája

$$\varepsilon_D = 73\text{--}100 \text{ eV}$$

lesz, a megadott intervallumokon belüli θ_i és E értékeitől függően.

A kölcsönhatási folyamat differenciális hatáskeresztmetszete az elektronok saját koordináta-rendszerében, $\theta_i = 25^\circ$ és $\theta_f = 0^\circ$ értékekre, $N = 1$ foton elnyelése mellett [4],

$$d\sigma_1/d\Omega_0 = 16\pi r_0^2 hc E_0 \varepsilon_0^{-2} \cos^2 \beta_0,$$

ahol β_0 az elektron szórási szöge a beeső sugárzás polarizációs vektorához viszonyítva, Ω_0 pedig az elektron szórási térszöge. Számértéke

$$d\sigma_1/d\Omega_0 = 1 \cdot 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{sr}.$$

Két foton, $N = 2$, elnyelése esetén és n foton szórására a differenciális hatáskeresztmetszet

$$d\sigma_2/d\Omega_0 = 8r_0^2 h^3 c^2 E_0 \varepsilon_0^{-4} \cos^2 \varphi_0,$$

ahol φ_0 a két foton polarizációs vektora közötti szög. Párhuzamosan haladó fotonok esetén $\cos^2 \varphi_0 = 1$ és

$$d\sigma_2/d\Omega_0 = 2 \cdot 10^{-42} \text{ cm}^4/\text{s}.$$

Összehasonlítva az egy- és kétfotonos abszorpció és n -fotonos szórás átmeneti valószínűségét, láthatjuk, hogy $I_i = 10^{12} \text{ W/cm}^2$ beeső sugárzási intenzitás felett a kétfotonos abszorpció nagyobb valószínűségű, mint az egyfotonos folyamat. Ezen előbbi esetre a szórt, röntgentartományba eső sugárzás intenzitása, $I_i = 10^{19} \text{ W/cm}^2$ beeső sugárzási intenzitás, 1 eV energiájú fotonok és 1 ps időtartamú, 1 A áramerősségű elektronnyaláb esetén

$$I^s = 10^{12} \text{ W/cm}^2.$$

Irodalom

- [1] Körmendi, F. F.: Absorption of photons by a free electron in laser beams. *Optica Acta*, 28 (1981) 1559–1562.
- [2] Körmendi, F. F.: Transition probabilities for the absorption of laser photons by free electrons. *Optica Acta*, 31 (1984) 301–311.
- [3] Körmendi, F. F., Farkas, Gy.: Laser Accelerators and X-ray Generators Based on Multiphoton Processes. *Laser Physics*, 7 (1997) 583–587.
- [4] Körmendi, F. F., Farkas, Gy.: Soft-X-ray generation by multiphoton scattering of a laser beam from fast free electrons. *Physical Review*, A, 53 (1996) R637–639.
- [5] Körmendi, F. F.: Kinematical relations at nonlinear laser field: free electron interactions. *Laser and Particle Beams*, 8 (1990) 451–458.

Kvantumteleportáció

A kvantummechanika számos sajátossága idegen a klasszikus fizikai szemlélet számára. Ezek közé tartoznak azok a jelenségek, melyekben két, egymástól térszerűen elválasztott esemény kimenetele korrelációt mutat. Tekintsünk például két feles spinű részecskét spin-szinglett állapotban, melyek ellenkező irányba haladnak. A kvantummechanika szerint ha az egyik részecskén mérést hajtunk végre, és annak eredménye $+1/2$, biztosak lehetünk benne, hogy a másik részecske, amely tőlünk már nagyon messze lehet, $-1/2$ spinű állapotban van. Az ilyen típusú jelenségeket kvantummechanikai nemlokalitással és inszeparabilitással kapcsolatos jelenségekként szokás említeni. Utóbbi arra utal, hogy egy kvantumrendszer két tetszőleges részrendszerének hullámfüggvénye nem feltétlenül függetleníthető egymástól, még akkor sem, ha a szóban forgó részrendszerek térben távoliak.

A nemlokalitás és inszeparabilitás Einstein, Podolsky és Rosen híres, 1935-ben megjelent cikke¹ óta a kvantummechanika egyik legjelentősebb alapkérdése. A kvantumjelenségekre jellemző, hogy a makroszkopikus mérettartományban általában nem figyelhetők meg, elmosódnak. Ily módon különösen érdekesek azok az esetek, amikor egy-egy jelenség makroszkopikus (ill. mezoszkopikus) rendszerekben is megjelenik, „kézzelfoghatóvá téve” a kvantummechanikai leírás helyességét.² Ebből a szempontból kiemelkedő fontosságúak a Bell-egyenlőtlenségek,³ a nemlokalitás és inszeparabilitás kvantitatív következményei. Másrészt a Bennett által 1993-ban felvetett⁴ lehetőség, amit „kvantumteleportációnak” nevezett el, talán a nemlokalitás és inszeparabilitás eddig ismert legszembetűnőbb megnyilvánulása. A következőkben ezt a jelenséget mutatjuk be részletesen. Először a teleportáció elvét ismertetjük, majd bemutatjuk ennek egy optikai kísérleti megvalósítását, végül pedig ismertetünk egy újabb megvalósítási lehetőséget.

A kvantumteleportáció elve

Lehetséges-e egy fizikai rendszerrel tökéletesen azonos állapotú másik rendszer előállítása? A klasszikus fizika világképével ez összhangban van. Megmérhetjük

a rendszer minden egyes alkotóelemének mozgásjellemzőjét (helyét és impulzusát), és ezen információ birtokában elkészíthetünk egy pontosan ugyanilyen rendszert, valahol máshol. A kvantummechanikában más a helyzet. Egy kvantumrendszeren a Heisenberg-reláció miatt egyszerre nem mérhető minden fizikai mennyiség pontosan. Hasonló akadályokba ütközik pl. pontosan adott helyű és impulzusú részecskék előállítás, amikor az „iker” rendszert próbáljuk fölépíteni. A kvantummechanika tehát tiltja a fizikai rendszerek ilyen értelemben vett „klónozását”. Mint azonban látni fogjuk, ha a másolandó rendszert megsemmisítjük, lehetséges egy azzal azonos rendszer előállítása más helyen és más időben. Ez hasonlít a tudományos fantasztikum világában elképzelt „teleportáció” jelenségére. A legfontosabb különbség, hogy az írói elképzelésekben az egyik helyen megsemmisülő tárgy *azonnal* létrejön az új helyen, ami természetesen nem lehetséges. Ennek ellenére a következőkben ismertetett folyamatot kvantumteleportációnak nevezzük.

Tegyük fel, hogy valaki rendelkezik valamilyen fizikai objektummal (a továbbiakban részecske), amelynek állapotát ő maga sem ismeri, hiszen ahhoz meg kéne mérnie, a mérés pedig átalakítja az állapotot, és az előző bekezdésben említett nehézségek is fellépnek. Az állapot tehát tetszőleges lehet. Az egyszerűség kedvéért tegyük föl, hogy a részecske kétállapotú, például fermion feles spinnel, vagy foton, valamilyen polarizációval. (Az itt következők könnyen általánosíthatók tetszőleges végessok állapotú rendszerekre, de létezik a teleportációnak folytonos változókra vonatkozó tárgyalása is.⁵⁾ Egy ilyen rendszer tetszőleges állapota:

$$|\Psi\rangle_1 = \alpha|\uparrow\rangle_1 + \beta|\leftrightarrow\rangle_1, \quad (1)$$

ahol $|\leftrightarrow\rangle_1$ és $|\uparrow\rangle_1$ ennek a rendszernek (melyre az 1-es index utal) a két állapota, α, β tetszőleges komplex számok, $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$. A szóban forgó személy – akit hagyományosan Alice-nek nevez az irodalom – azt kívánja elérni, hogy a tér egy más helyén tartózkodó, Bob nevű ismerőse rendelkezék egy olyan részecskével, melynek állapota pontosan olyan, mint a nála találhatóé. (Természetesen elvihetné „kézben”, ha erre mód van, de most egy ennél ötletesebb módszert ismertetünk, amelyből több előny és tanulság származik.)

A kívánt cél elérése érdekében előkészületekre van szükség. Tekintsünk most két kétállapotú kvantumrendszert, melyeket a 2-es és 3-as indexek jelölnek! E két rendszer állapotterét a

$$\{|\uparrow\rangle_2|\leftrightarrow\rangle_3; |\leftrightarrow\rangle_2|\uparrow\rangle_3; |\uparrow\rangle_2|\uparrow\rangle_3; |\leftrightarrow\rangle_2|\leftrightarrow\rangle_3\}$$

vektorok feszítik ki, ez az állapottér természetes bázisa. Képzeljük el, hogy valamilyen eszközzel a két részrendszerből álló rendszernek a következő állapotát tudjuk előállítani:

$$|\Psi\rangle_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|\uparrow\rangle_2|\leftrightarrow\rangle_3 - |\leftrightarrow\rangle_2|\uparrow\rangle_3). \quad (2)$$

Ez lényegében a bevezetőben említett állapotnak felel meg: ha pl. a 2. részrendszeren mérést végzünk, és azt a $|\uparrow\rangle_2$ állapotban találjuk, biztosak lehetünk benne, hogy a 3. részrendszer a mérés pillanatában a $|\leftrightarrow\rangle_3$ állapotban van, még akkor is, ha tőlünk térben már távolra került. Az ilyen állapotokat összefonódott állapotnak, ill. Einstein, Podolsky és Rosen neveiből EPR-pároknak nevezzük. Tegyük fel, hogy Alice és Bob még a teleportálás előtt megosztották egymás közt az EPR-pár tagjait: Alice a 2., Bob a 3. részecskét kapja.

A teljes rendszer három részecskéből áll, ezek közül kettő Alice-nél, egy pedig Bobnál található. Ezen rendszer állapota az (1) és (2) egyenletek szorzásával kapható meg. Annak érdekében, hogy Alice és Bob sikeresen végrehajtsa a teleportálást, még egy megfontolás szükséges. Tekintsük a

$$\begin{aligned} |\Psi^{(\pm)}\rangle_{12} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\uparrow\rangle_1 |\leftrightarrow\rangle_2 \pm |\leftrightarrow\rangle_1 |\uparrow\rangle_2 \right) \\ |\Phi^{(\pm)}\rangle_{12} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\uparrow\rangle_1 |\uparrow\rangle_2 \pm |\leftrightarrow\rangle_1 |\leftrightarrow\rangle_2 \right) \end{aligned} \quad (3)$$

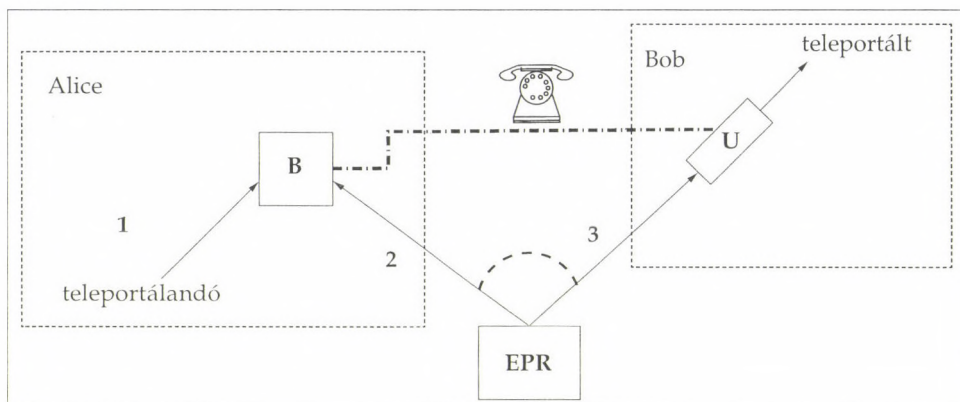
vektorokat, amelyek az 1. és 2. részecskékből álló rendszer állapotterén bázist alkotnak, amit Bell-bázisnak nevezünk. Érdeemes megjegyezni, hogy a Bell-bázis minden eleme összefonódott állapot. Ha a teljes rendszer állapotát, tehát az (1) és (2) egyenletekben szereplő állapotok szorzatát a (3) bázis szerint kifejtve írjuk föl, a következőre jutunk:

$$\begin{aligned} |\Psi_{123}\rangle &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[|\Psi_{12}^{(-)}\rangle \left(-\alpha |\uparrow\rangle_3 - \beta |\leftrightarrow\rangle_3 \right) + |\Psi_{12}^{(+)}\rangle \left(-\alpha |\uparrow\rangle_3 + \beta |\leftrightarrow\rangle_3 \right) \right. \\ &\quad \left. + |\Phi_{12}^{(-)}\rangle \left(\alpha |\leftrightarrow\rangle_3 + \beta |\uparrow\rangle_3 \right) + |\Phi_{12}^{(+)}\rangle \left(\alpha |\leftrightarrow\rangle_3 - \beta |\uparrow\rangle_3 \right) \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

Látható, hogy az 1., 2. részecskék (3) egyletben definiált vektorai mellett a 3. részecske olyan állapotai jelennek meg, amelyek az 1. részecske kezdeti állapotával szoros kapcsolatban állnak: abból egy unitér transzformációval megkaphatók. Például a állapot esetén az (1)-ben leírt állapot -1 -szerese jelenik meg, ami egy lényegtelen fázisfaktortól eltekintve épp a kívánt állapot. Úgy érhető el, hogy az 1. és 2. részecskékből álló rendszer a Bell-állapotok valamelyikébe kerüljön, hogy egy olyan műszerrel mérjük meg az 1. és 2. részecskét, amely azt méri, hogy melyik Bell-állapotban van a rendszer. Ugyanis a kvantummechanika értelmében a mérés után a rendszer pontosan abba az állapotba kerül, amelyben a mérés talála.

A teleportálást biztosító elrendezés blokkvázlatát az 1. ábrán láthatjuk. Tegyük fel, hogy rendelkezésünkre áll egy forrás, amely EPR-párokat bocsát ki. A párok 2. és 3. jelű tagjai különböző irányokba mennek tovább. Alice a Bell-állapotok mérésére szolgáló műszerrel (B) mérést hajt végre az 1. és 2. részecskén, melynek eredményét telefonon közli Bobbal. A mérés pillanatában a Bobnál található 3. részecske a teleportálni kívánt állapot négyféle transzformáltja lehet, hogy melyik, azt Alice mérési eredménye szabja meg. Ennek ismerete nélkül Bob nem tudja rekonstruálni a kívánt állapotot. Így szükség van egy információs csatornára (tele-

fonvonal), amelyen keresztül Alice tájékoztatja Bobot a mérés eredményéről. Ekkor Bob a megfelelő transzformáció invertálása után megkapja a kívánt állapotú részecskét.



1. ábra. A teleportációs séma blokkvázlata. A feladó, Alice rendelkezik a teleportálandó 1. részecskével és a B Bell-állapot detektorral. Az összeköttetést a telefonvonal és az EPR-forrás által keltett EPR-pár mint kvantumcsatorna biztosítja. Bob az U unitér transzformáció után kapja a meg a teleportált részecskét

Az Alice-nél lévő 1. részecske kezdeti (1) állapota a Bell-állapot mérése során megsemmisül, hiszen az 1. részecske a 2. részecskével kerül valamilyen összefonódott állapotba. Ezért nincs szó a kezdeti állapot „klónozásáról”, ami a kvantummechanika szerint nem is volna lehetséges. Noha a részecske nem „utazott” a fénynél gyorsabban, a sebességnek a klasszikus információs csatorna sebessége szab határt. A módszer további előnye, hogy Alice-nek nem kell feltétlenül tudnia, hogy hol tartózkodik Bob (pl. telefon helyett használhat rádióadót). A kvantumteleportáció tehát nem más, mint egy kvantumállapot megsemmisítése és előállítása a tér egy másik helyén, egy klasszikus információs csatorna és egy összefonódott pár segítségével.

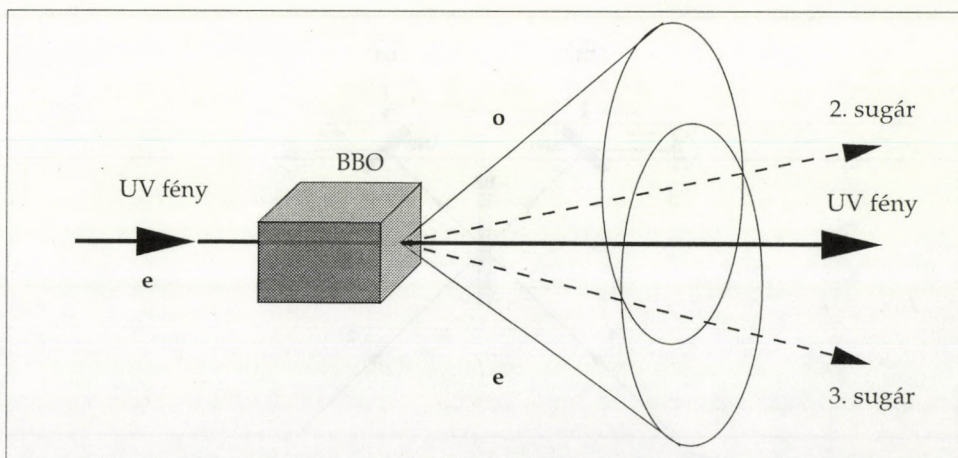
Szót kell ejteni a jelenség információelméleti aspektusáról is. A teleportálás során végső soron a bejövő állapot két komplex együtthatóját továbbítjuk, amely a normálás és a mérték-invariancia folytán két valós szám. Ehhez csupán két bit információt és az összefonódott pár által biztosított korrelációt használjuk, tehát bizonyos szempontból két biten lehetséges két valós számot továbbítani. Szokás úgy is fogalmazni, hogy a feladó és a vevő közti klasszikus információs csatorna és egy ún. „kvantumcsatorna” (az EPR-pár) segítségével lehet egy kvantumállapotot továbbítani. Ezáltal a kvantumteleportáció a kvantumszámítógépek kifejlesztését célzó kutatás szempontjából is lényeges.

Optikai megvalósítás

Sok kvantummechanikai alapjelenség esetében az optika szolgáltatja a lehetőséget a kísérleti tanulmányozásra. A kvantumteleportáció is optikai módszerekkel vált először megvalósíthatóvá. A két állapot két ortogonális polarizáció, a bejövő állapot ezek lineárkombinációja, vagyis egy tetszőlegesen polarizált fény lehet. Az 1. ábrára tekintve láthatjuk, hogy három egység megvalósítása szükséges: az összefonódott párok forrásáé, a Bell-állapotok detektoráé, ill. az unitér transzformációkat végrehajtó eszközé. Az unitér transzformációkat illetően megjegyezzük, hogy passzív lineáris optikai elemekkel (pl. nyalábosztók, Fabry–Perot-interferométerek stb.) bármely unitér transzformáció végrehajtható.⁶ A következőkben a másik két egységet mutatjuk be.

Összefonódott párok előállítás

Az összefonódott párok intenzív forrásainak előállítása terén a parametrikus erősítők és fázisillesztési technikák használata jelentett áttörést. Jelenleg a leghatékonyabb módszer⁷ a BBO (β -bárium-borát), egy nemlineáris optikai tulajdonságú kristály alkalmazása. Ha a BBO-t intenzív, koherens ultraibolya fénnel ($\lambda = 351$ nm) világítjuk meg, a fény fotonjainak egy kis része az elektronrendszerrel való rugalmas kölcsönhatás folytán fotonpárookra bomlik. Ez a parametrikus fluoreszcencia jelensége. A keletkező fotonok hullámhossza az energia-megmaradás miatt az UV-fotonokénak kétszerese, tehát látható fény keletkezik. Mivel a kölcsönhatás rugalmas, a keletkező fotonok haladási irányát az impulzusmegmaradás szabja meg, amelyet itt fázisillesztési feltételnek nevezünk. Esetünkben



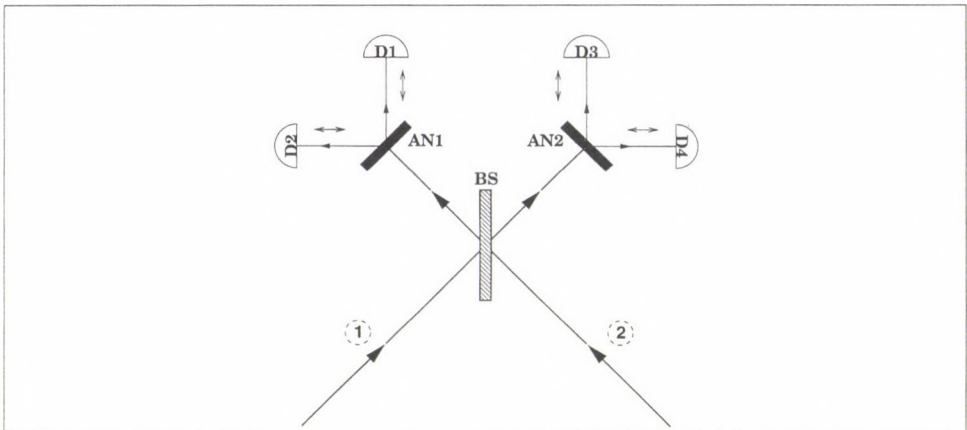
2. ábra. EPR-párok előállítása nemlineáris kristállyal. Az o és e az ordinárius és extraordinárius sugarakat jelöli, melyek egymásra ortogonálisan polárosak

ez úgy tud teljesülni, ha a pár két tagjának polarizációja ellentétes, ekkor az ún. II. típusú fázisillesztés valósul meg.

Az elrendezés vázlata a 2. ábrán látható. A kristályból két kúpfelületen lép ki a látható fény. A kúpokat alkotó fény polarizációja a két kúpban egymásra merőleges. Azok a fénysugárpárok, melyek tagjai különböző kúpokon, az ultraibolya fénysugár átellenes oldalain helyezkednek el, az együtt keletkezett fotonpároknak felelnek meg, vagyis közöttük tökéletes korreláció van: ha az egyik irányba halad egy foton, akkor a másik irányba is. A kristályt megfelelően orientálva elérhető, hogy a két kúp metszete az UV fény átellenes oldalain helyezkedjen el. Ekkor a metszésvonalakat egy-egy apertúrával kiválasztva, két határozatlan polarizációjú fénysugarat kapunk. Ha azonban az egyik sugár útjába helyezett detektorral egy valamilyen polarizációjú fotont detektálunk, biztos, hogy a másik irányban mérve azzal ellentétes polarizációt kapnánk. Ez megfelel a (2) egyenletben szereplő állapotoknak. A két sugár közül az egyik játssza a 2. részrendszer, a másik a 3. részrendszer szerepét.

Bell-állapotok detektálása

A fotonok detektálására szolgáló eszközök (pl. lavinadióda) a természetes bázis elemeire vetítenek. A Bell-állapotok detektálásához úgy kell manipulálni az állapotot, hogy a négy Bell-állapot négy olyan állapotra transzformálódjon, amelyek mindegyike megkülönböztethető lavinadiódákkal, tehát egy természetesbázis-elem csak egy ilyen állapotban szerepelhet. Nyalábosztóval (féligáteresztő tükörrel) a négy állapotból kettő megkülönböztethetővé tehető. A tárgyalt teleportációs séma esetén ennél nagyobb hatékonyságot még nem értek el.



3. ábra. Bell-állapotok detektálása. A két nyaláb a BS nyalábosztóra esik, ahonnan az AN1 és AN2 analízátorok után a függőleges és vízszintes polarizációjú komponensek szétválasztva jutnak a D1–D4 detektorokra

Az elrendezés vázlata a 3. ábrán látható. Az 1. és 2. nyalábok egy féligáteresztő tükörre esnek. A kimenetek fénye egy-egy polarizáció-analizátorra esik, ahonnan négy detektorba jut a négy fénysugár, ahol a különböző polarizációknak és irányoknak megfelelő módusok fotonjainak detektálása történik. A nyalábosztó kvantummechanikai leírása⁸ alapján végzett számítás eredményét⁹ a következő módon foglalhatjuk össze: ha két olyan detektor szólal meg egyszerre, amelyek a nyalábosztó különböző oldalán vannak, és különböző polarizációhoz tartoznak ($D1+D4$ vagy $D2+D3$), a mért állapot $|\Psi\rangle_{12}^{(-)}$. Ha a nyalábosztó egy oldalán lévő két detektor szólal meg együtt ($D1+D2$ vagy $D3+D4$), akkor $|\Psi\rangle_{12}^{(+)}$ állapotot detektáltunk. Ha pedig csak egy detektor szólal meg, az attól függetlenül, hogy melyik detektor szólt, a $|\Phi\rangle_{12}^{(+)}$ és $|\Phi\rangle_{12}^{(-)}$ állapotok bármelyikére utalhat. Az elrendezés tehát a Bell-állapotok felét tudja jelezni. Ha az analizátorokat elhagyjuk, és csak két detektort alkalmazunk, a $|\Psi\rangle_{12}^{(-)}$ állapot még mindig azonosítható.

Kísérleti kvantumteleportáció

A teleportációval kapcsolatos kísérleti eredmények meglehetősen új keletűek. Először A. Zeilinger innsbrucki csoportjának eredményeit¹⁰ említjük. Itt az előző részben tárgyalt séma került megvalósításra. Csak a $|\Psi\rangle_{12}^{(-)}$ állapotot figyelték, ekkor az esetek egynegyedében beszélhetünk sikeres teleportációról, viszont a megfelelő unitér transzformáció az identikus transzformáció, vagyis a $|\Psi\rangle_{12}^{(-)}$ állapot detektálása után a 3. irányba már a kívánt állapot megy. A BBO-kristályt gyors impulzuslézerrel pumpálták: 200 fs-os impulzusokkal, 76 MHz ismétlési frekvenciával. A fotonok detektálása lavinadiódákkal történt, keskeny sávú szűrők használatával. Így elérhető, hogy a koherenciaidő 520 fs legyen, ami nagyobb az impulzushossznál, így az 1. és 2. fotonok nem válnak érkezésük ideje alapján megkülönböztethetővé (ez ugyanis elrontaná a Bell-állapot detektálását). A kísérletben sikerült két ortogonális lineáris polarizációt és szuperpozíciókat (más lineáris és cirkuláris polarizációkat) teleportálni.

Figyelemre méltóak De Martini olaszországi csoportjának eredményei is.¹¹ Itt a teleportálni kívánt állapotot az EPR-pár egyik tagján állították be, így csak két részecske szerepel, az összefonódás pedig szabadsági fokok (irány és polarizáció) között értelmezhető. Ezzel a módszerrel ugyan nem lehet egy kívülről jött akármilyen fotont teleportálni, a Bell-állapotok detektálása azonban egyszerűvé válik.

A teleportálás jelenségének egy más típusú megközelítését alkalmazza H. J. Kimble és csoportja, akiknek eredményei pillanatnyilag a legfrissebbek ebben a témakörben. Itt a teleportálás folytonos változókra,⁵ mégpedig egy egymódusú elektromágneses tér kvadraturáira (a hullámmódoz tér szinuszos, ill. koszinuszos komponenseire) vonatkozik. Kísérleti eredményeik¹² igen meggyőzőek, a Bell-állapotok mindegyike detektálható, és eredményesen teleportálnak különféle kvantumállapotokat. Mivel itt egy másik, az általunk ismertetettől alapjaiban eltérő elméleti és kísérleti sémáról van szó, ezt nem tárgyaljuk részletesen. Érdekes azonban megjegyezni, hogy a megfontolások és a kísérletek itt is jellegzetes kvan-

tumoptikai módszereken alapulnak, és a nyalábosztók, az általunk ismertetett séma esetéhez hasonlóan, itt is fontos szerepet játszanak.

Teleportáció egyéb kétállapotú rendszerekben

A teleportációnak az első részben ismertetett elve nem kötődik konkrét fizikai rendszerhez. Felmerül tehát, nem lehetne-e a fotonokkal és polarizációs állapotokkal kapcsolatos elgondolások helyett valamely más megvalósítási lehetőséget is találni. A fő kérdés minden esetben az EPR-párok előállítására és a Bell-állapotok detektálására. Ebben a részben megmutatjuk, hogy az optika keretein belül maradván más lehetőség is adódik a teleportáció kivitelezésére, ahol szintén kétállapotú rendszereket alkalmazunk.

A lehetőség harmadrendű nemlineáris optikai jelenségek vizsgálata során merült föl. Ezek sok szempontból újdonságokat tartogatnak a kvantumoptika számára. A parametrikus fluoreszcenciához hasonló harmadrendű jelenségeket, ahol egyszerre három foton keletkezik, napjainkban több okból is intenzíven tanulmányozzák.¹³ Esetünkben egy olyan folyamat a kíváncsú, amelyben egy foton három azonos fotonra bomlik, melyek közül kettő közös irányba megy. Ha a fázisillesztés is megfelelő típusú, a 2. ábrán láthatóhoz hasonló elrendezéssel előállítható a következő összefonódott állapot:

$$|\Psi\rangle_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\Uparrow\rangle_2 |\leftrightarrow\rangle_3 - |\leftrightarrow\rangle_2 |\Uparrow\rangle_3 \right). \quad (5)$$

Itt a \Uparrow jelölés arra utal, hogy egy függőleges polarizációjú *fotonpár* halad az adott irányba. Olyan konfiguráció, melyben ez a folyamat intenzíven zajlana, jelenleg még nem ismert, de ha sikerül ilyen találni, akkor az (5) egyenletbeli egyfoton-kétfoton összefonódott állapotok előállíthatók lesznek.

A teleportálandó állapot szerepét a következő veszi át:

$$|\Psi\rangle_1 = \alpha |\Uparrow\rangle_1 + \beta |\leftrightarrow\rangle_1.$$

Ugyanazzal a megfontolással, mint a második részben, kapjuk, hogy ezeket is lehet teleportálni, ha találunk az alábbi Bell-állapotok mérésére alkalmas eszközt:

$$\begin{aligned} |\Psi\rangle_{12}^{(\pm)} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\Uparrow\rangle_1 |\leftrightarrow\rangle_2 \pm |\leftrightarrow\rangle_1 |\Uparrow\rangle_2 \right), \\ |\Phi\rangle_{12}^{(\pm)} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\Uparrow\rangle_1 |\Uparrow\rangle_2 \pm |\leftrightarrow\rangle_1 |\leftrightarrow\rangle_2 \right). \end{aligned}$$

Számításaink azt igazolják, hogy a 3. ábrán látható összeállítás erre is alkalmas. Az eredményeket az 1. táblázatban foglaljuk össze. Ez az eredmény azt mutatja, hogy lehetséges egy- és kétfoton-állapotok szuperpozícióit – és így bizonyos értelemben részecskéket – is teleportálni, a polarizációt segédinformációként kihasz-

nálva. Másrészt érdemes megjegyezni, hogy a Bell-állapotoknak itt is csak a fele válik megkülönböztethetővé, azaz a fotonszámokkal megjelenő extra paraméter nem javítja a Bell-állapotok detektálásának hatékonyságát.

1. táblázat

| Koincidencia | Állapot |
|--------------------------------|--|
| D3 + D4, D1 + D4, D1 + D2 + D3 | $ \Phi\rangle_{12}^{(-)}$ |
| D1 + D2, D2 + D3, D1 + D3 + D4 | $ \Phi\rangle_{12}^{(+)}$ |
| D1, D2, D3, D4, D1 + D3 | $ \Phi\rangle_{12}^{(+)}$ vagy $ \Phi\rangle_{12}^{(-)}$ |

Bell-állapot detektálás fotonszám szuperpozíciók teleportálásához. A detektorok jelölése a 3. ábrán látható. A táblázat azt mutatja, hogy a lehetséges koincidenenciák melyik Bell-állapot detektálására utalnak

A kvantummechanika, amely a fizika forradalmát jelentette századunk elején, ma több szempontból második virágkorát éli. Egyrészt a számítógépek használata révén lehetővé vált a – sok esetben analitikusan megoldhatatlan – kvantummechanikai egyenletek numerikus megoldása. Másrészt a kísérleti technikák fejlődése lehetővé teszi olyan kvantumrendszerek közvetlen tanulmányozását, amelyekre azelőtt nem lett volna mód. Itt elsősorban a lézerek megjelenése és az ebből kiinduló számos új kutatási irány (pl. optikai parametrikus oszcillátorok stb.) hozott áttörést. Kvantumoptikai módszerekkel a kvantummechanika alapvető kérdései elméletileg és kísérletileg is hatékonyan vizsgálhatók. Idesorolható a nemlokalitás és inszeparabilitás vizsgálata, melynek, mint láttuk, a teleportáció egy igen látványos módja.

Irodalom

1. Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N.: *Phys. Rev.*, 47 (1935) 777.
2. Bell, J. S.: Einstein-Podolsky-Rosen experiments. In: *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics*. Cambridge, 1993.
3. Bell, J. S.: *Physics*, 1 (1964) 195.; Clauser, J. F., Holt, R. A., Horne, M. A., Shimony, A.: *Phys. Rev. Lett.*, 23 (1969) 880.
4. Bennett, C. H., Brassard, G., Crépeau, C., Jozsa, R., Peres, R., Wootters, A. W. K.: *Phys. Rev. Lett.*, 70 (1993) 1895.
5. Brastein, S. L., Kimble, H. J.: *Phys. Rev. Lett.*, 80 (1998) 1121.
6. Reck, M., Zeilinger, A., Bernstein, H. J., Bertani, P.: *Phys. Rev. Lett.*, 73 (1994) 58.
7. Kwiat, P. G., Mattle, K., Weinfurter, H., Zeilinger, A., Sergienko, A. V., Shih, Y.: *Phys. Rev. Lett.*, 75 (1995) 4337.
8. Campos, R. A., Saleh, B. E. A., Teich, M.: *Phys. Rev.*, A 40 (1989) 1371.
9. Weinfurter, H.: *Europhys. Lett.*, 25 (8) (1994) 559.; Braunstein, S. L., Mann, A.: *Phys. Rev.*, A 50 (1995) R1727; Michler, M., Mattle, K., Weinfurter, H., Zeilinger, A.: *Phys. Rev.*, A 53 (1996) R1209; Mattle, K., Weinfurter, H., Kwiat, P. G., Zeilinger, A.: *Phys. Rev. Lett.*, 76 (1996) 4656.
10. Bouvmeester, D., Pan, J., Mattle, K., Eibl, E., Weinfurter, H., Zeilinger, A.: *Nature*, 390 (1997) 575.

11. Boschi, D., Branca, S., Martini De F., Hardy, L., Popescu, S.: *Phys. Rev. Lett.*, 80 (1998) 1121.
12. Furusawa, A., Sørensen, J. L., Braunstein, S. L., Fuchs, C. A., Kimble, H. J., Polzik, E. S.: *Science*, 282, 23 october 1998.
13. Janszky J., Adam P., Kis Z.: *Progress in Physics*, 46 (1998) 6–8, 829–835.; Tanas, R., Gatsong, T. S.: *Phys. Rev.*, A 45 (1992) 5031.; Feilbinger, T., Scholler, S., Mlynek, J.: *Phys. Rev. Lett.*, 80 (1998) 492.

Atomok hűtése lézerrel

Régóta ismeretes az a tény, hogy a fény emissziójánál, illetve abszorpciójánál a fényt kibocsátó atom visszalökődik, mivel a fény kvantumának nemcsak energiája, hanem hk impulzusa is van (k a fény hullámszáma, azaz a hullámhossz reciproka, h a Planck-konstans). Az energiamegmaradási tétel mellett az impulzus megmaradásának is teljesülnie kell. Először Frisch figyelte meg Leningrádban [1], hogy az atomsugár a fény hatására eltérül. A látható tartományban a fénykvantum impulzusa igen kicsi. Az egy foton abszorpciójánál fellépő sebességváltozás mindössze 0,6 cm másodpercenként, például rubídiumatom és rezonanciafény alkalmazása esetén. (A hullámhossz $\lambda_L = 780 \text{ nm}$, azaz a hullámszám $k_L = 12\,820$.) Akkor tudjuk ezt a kis sebességváltozást valójában értékelni, ha például a 100 °C hőmérsékletű rubídiumgőz atomjainak 190 méter másodpercenkénti termikus átlagsebességével hasonlítjuk össze. Az atomok termikus mozgása miatt az egyébként $\Gamma = 37 \text{ MHz}$ szélességű rezonanciavonal Doppler-kiszélesedése 244 Hz. Ehhez a vonalszélességhez viszonyítva az egy foton elnyelése által okozott sebességváltozás csupán $v_r = 7,7 \text{ kHz}$ Doppler-vonaleltolódáshoz vezet. Ez még a természetes vonalszélességhez (37 MHz) viszonyítva is elenyésző. Nem csoda tehát, hogy a szokásos, látható tartománybeli spektroszkópiában a visszalökődés okozta sebességváltozástól el lehet tekinteni.

Más a helyzet azonban, ha például a rubídiumatom alapállapotában lévő hiperfinom energiaállapotok közötti mágneses dipólátmenetet tekintjük. Az ezen átmenetben keletkező vonal szélessége már összemérhető a visszalökődés által keletkezett Doppler-eltolódással, vagy éppen annál kisebb. A keskeny sáv szélesség az, ami lehetővé teszi, hogy az átmenetekben keletkező spektrumvonalat idő, illetve hossz-standardként használjuk fel. A standard pontossága nagymértékben függ attól, hogy milyen széles a spektrumvonal, azaz hogy milyen sebességgel mozog az atom, illetve hogy mekkora az atomok sebességszórása. Érthető tehát az atomok sebességének és sebességszórásának csökkentésére, hűtésére megfogalmazott igény.

Atomok lézersugárral való hűtésére az első javaslatot Häntsch és Schawlow tette 1975-ben [2]. Ez az úgynevezett Doppler-hűtési technika. Az első atomsugár-lassítási kísérleteket Letokhov és munkatársai végezték el az 1970-es évek vége felé a Moszkva melletti Troickban [3]. Azóta további, nagyobb hatásfokú hűtési eljárások sokaságát sikerült kidolgozni, ezenkívül az atomokat nemcsak lehűtötték, hanem megadott térfogatba is csapdázták. Ezen eljárások között kiemelkedő a mágneses optikai csapda megalkotása (Chu, 1985, [4]) és a sebességszelektív atomcsapdázás (Cohen Tannoudji és Phillips, 1988–89 [5]). Ez utóbbi kiemelkedő eredményeket 1997-ben Nobel-díjjal ismerték el.

A következő fejezetben a legelső, Doppler-lézerhűtési eljárást, majd az ezen eljárás alapján végzett kísérletünket, ezután pedig egy általunk kidolgozott koherens impulzus lézerhűtési eljárást ismertetünk. Végül néhány gondolatot fogalmazunk meg a lehetséges további kutatási irányról ezen a területen.

Doppler-hűtés

A lézerfény hatására az atomban elektromos dipólmomentum (\mathbf{p}) indukálódik. Ebből eredően a lézerfény (\mathbf{E}) elektromos terében az atomnak energiája van. Ennek a kölcsönhatási energiának gradiense az atomra ható erő $\langle \mathbf{F} \rangle$, amely két részből áll. Lineárisan poláros fény esetén

$$\langle \mathbf{F} \rangle = -\nabla H_{\text{int}} = \langle \mathbf{p} \rangle \cdot \nabla \{ E_0 \cos(\omega_L t + \Phi_L) \} = \mathbf{F}_{\text{dip}} + \mathbf{F}_{\text{spont}},$$

ahol ω_L és t a lézerfény frekvenciája, fázisa és az idő. Továbbá

$$\mathbf{F}_{\text{dip}} = -p_{10} \nabla E_0 \cdot \boldsymbol{\Omega} / R_0 \cdot s / (1+s)$$

$$\mathbf{F}_{\text{spont}} = -p_{10} \cdot E_0 \cdot \nabla \Phi_L \cdot \Gamma / (2R_0) \cdot s / (1+s).$$

Itt

$$s = 1/2 \cdot R_0^2 / (\Omega^2 + 1/4 \cdot \Gamma^2),$$

és a Rabi frekvencia

$$R_0 = p_{10} \cdot E_0 / \hbar$$

Γ a természetes vonalszélesség, Ω a fény frekvenciájának az atomrezonancia frekvenciájától való elhangolása, p_{10} a dipólusmomentum mátrixeleme. Az \mathbf{F}_{dip} egy koherens erő, amelyet a térerősség gradiense határoz meg. $\mathbf{F}_{\text{spont}}$ a fény stochasztikus abszorpciójának, illetve emissziójának a következménye. Ha a fázis $k \cdot z$ alakban függ a z terjedési iránytól, akkor

$$F_{\text{spont}} = \hbar \cdot k_L \cdot \Gamma / 2 \cdot \frac{I}{I + I_s (1 + 4 \cdot \Omega^2 / \Gamma^2)}.$$

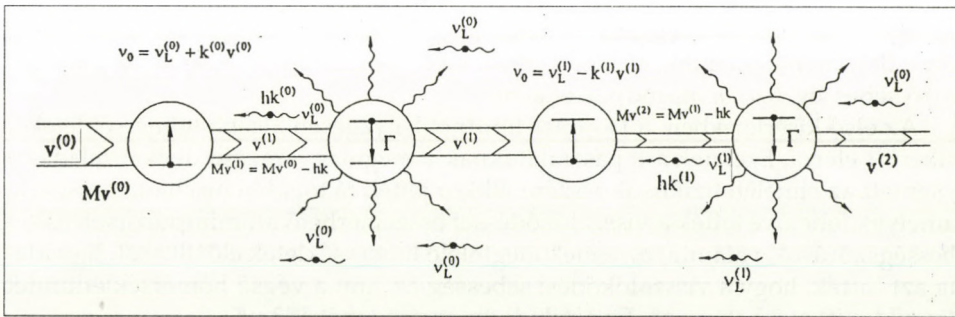
Ahol a telítési intenzitás

$$I_s = \frac{h \cdot c}{\tau \cdot \lambda^3}$$

I a fény intenzitása, τ a gerjesztett állapot élettartama, c a fénysebesség. Ha az atom v sebességgel, a fénysugárral szemben halad, az elhangolás

$$\Omega = \nu_L - \nu_0 + k_L v,$$

ahol ν_0 az atomrezonancia frekvenciája. Az atomra akkor hat a maximális, a sebességgel ellentétes irányú erő, amikor az elhangolás zérus. A fény frekvenciája tehát a rezonanciafrekvencia alatt van. Ha a fény atomok sokaságával lép kölcsönhatásba, amelyeknek különböző sebességük van, arra az atomcsoportra hat erő, amelynek elhangolása közel zérus. Tehát csak azon sebesség-intervallumban lévő atomok fékeződnek, melyekre igaz, hogy az elhangolás a természetes vonalzélességen belül zérus. Amennyiben minden atomot fékezni akarunk, a fény frekvenciáját „söpörtetni” kell az álló atomra vonatkoztatott maximális elhangolástól a minimális felé. Ekkor ugyanis, a maximális elhangolásnak megfelelő legnagyobb sebességtől kezdve a kisebb sebességek felé, egymás után lép kölcsönhatásba a fény az atomokkal. Az eredetileg nagyobb sebességű atomokat mint egy „hótóló” rátolja a kisebb sebességűekre. Ezáltal a sebességeloszlás nyilvánvalóan szűkül, a hőmérséklet csökken. A részletes mechanizmust az 1. ábra alapján lehet elképzelni.



1. ábra. A Doppler-hűtés sémája

A kezdetben, balról $v^{(0)}$ sebességgel beérkező atomot a $hk^{(0)}$ impulzusú, $\nu_L^{(0)}$ frekvenciájú fény gerjeszti. Ezalatt az atom impulzusa $Mv^{(0)}$ -ról $Mv^{(1)}$ -re változik, azaz

$$M \cdot v^{(1)} = M \cdot v^{(0)} - h \cdot k_L^{(0)}.$$

Ezután az atom spontánul fénykvantumot bocsát ki véletlenszerű irányba, és Γ gyakorisággal visszatér az alapállapotba. A fénykibocsátás folyamán az atom visszalökődik ugyan, de ha sok emissziós aktus végeredményét nézzük, az átlag-

visszalökődés zérus. Az alapállapotba visszatért atomot most már az első visszalökődést figyelembe véve, az ismét rezonanciába hangolt $\nu_L^{(1)}$ frekvenciájú fény gerjeszti a

$$\nu_0 = \nu_L^{(1)} - k_L^{(1)} \cdot v^{(1)}$$

összefüggésnek megfelelően. Az atom impulzusa a gerjesztés folyamán tovább csökken:

$$M \cdot v^{(2)} = M \cdot v^{(1)} - h \cdot k_L^{(1)}.$$

A gerjesztést ismételten emisszió követi, amelyben az atom impulzusa az emisszió izotróp volta miatt átlagban nem változik. Ez a folyamat ismétlődik lényegében Γ gyakorisággal, ha a fény intenzitása a telítési intenzitás nagyságrendjében van. Γ értéke az alkáliatomok esetén 10^8 Hz nagyságrendű.

Láttuk, hogy a rubídiumatom esetén – hogy konkrét példát vegyünk – a visszalökődésnél a sebességváltozás bár nagyon kicsi ($0,6 \text{ cm sec}^{-1}$), de ez $3,7 \cdot 10^7 \text{ sec}^{-1}$ gyakorisággal ismétlődik. Az eredmény az, hogy a termikus sebességű atom $N = 31\,668$ kvantum abszorpciója után megáll. Ehhez mindössze $t_{\text{stop}} = 855 \mu \text{ sec}$ időre (megállási idő) van szüksége, és ez alatt az idő alatt $s_{\text{stop}} = 8,2 \text{ cm}$ utat (megállási hossz) tesz meg.

Természetesen az emisszióban csak átlagban igaz, hogy nincs visszalökődés. Valójában ez egy véletlen folyamat, és ennek eredménye, hogy az atomok sebessége, illetve sebességszórása nem redukálható zérusra. Van egy hőmérséklet-határ (Doppler-limit)

$$T_{d,\min} = \frac{h \cdot \Gamma}{4 \cdot k_B},$$

amely $72 \mu \text{K}$ a rubídium esetén, aminek $v_{T,\min} = 8 \text{ cm sec}^{-1}$ átlagsebesség felel meg (k_B a Boltzmann-állandó). Ez lényegesen több, mint az egy visszalökődéshez tartozó sebesség, $0,6 \text{ cm}$ másodpercenként.

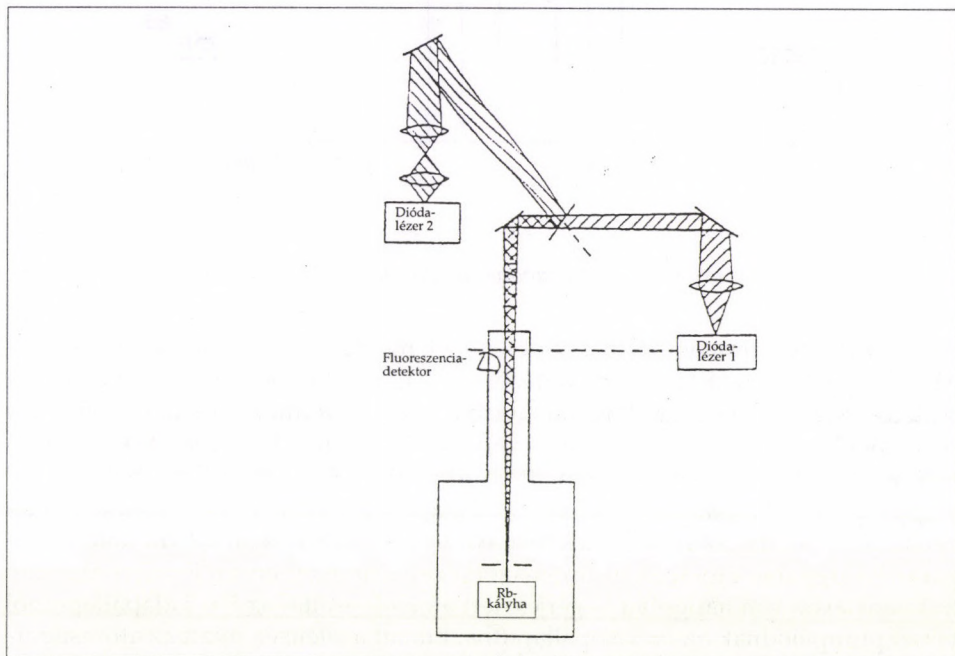
Az első kísérletekben a Doppler-limitnél lényegesen kisebb hőmérsékleteket sikerült elérni. Ezeknek a tapasztalatoknak a megmagyarázása delikát feladatot jelentett az elméleti fizikusok részére. Ekkor jöttek rá további mechanizmusokra, amelyek lehetővé tették a visszalökődéssel összemérhető atomimpulzusok és sebességszórások, valamint az ennek megfelelő hőmérsékletek előállítását. Egy ideig azt hitték, hogy a visszalökődési sebesség az, ami a végső hőmérsékletlimitet (*recoil limit*) meghatározza. Ez a rubídium esetén tehát 183 nK .

Kiderült azonban elméleti és kísérleti munkák alapján, hogy ez a határ is átléphető bizonyos mechanizmusok (sebességszelektív populációcsapdázás) segítségével.

Rb-atomsugár lassítása és hűtése

Egy egyszerű kísérletben meg lehet mutatni a fent leírt atomok hűtésének jelentőségét. Rubídiumatomot választottunk, mert ez az atom az, amit frekvenciastandardként használnak egyébként is. Továbbá a telítési intenzitás-sűrűség a rezonanciavonalon csupán $1,7 \text{ Wcm}^{-2}$, ami olyan kicsi érték, hogy a közönséges di-

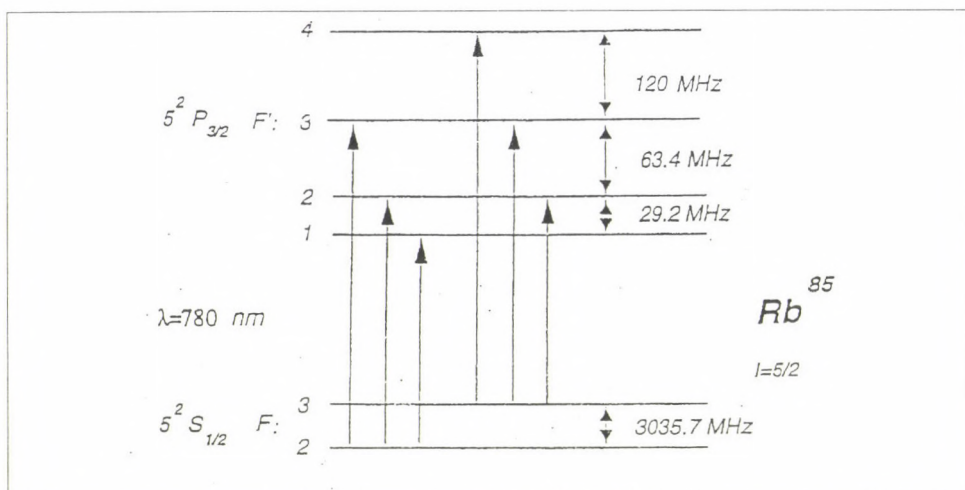
ódalézerek teljesítménye is megfelelő. A lézer hangolhatósága és monokromatikusága azonban fontos. Ezért külső rezonátorba kell helyezni a lézerdiódát, miután az eredeti dióda kilépő tükrét antireflexiós bevonattal a lehető legkisebb reflexiós értékre állítottuk be. Ekkor természetesen a dióda megszűnik lézerként működni. A lézerműködés a ráccsal hangolható külső rezonátorban áll helyre. Ilyen lézer viszonylag kis anyagi befektetéssel előállítható. Az atomsugár-hűtési kísérleti összeállítást a 2. ábra mutatja.



2. ábra. A mérés összeállítása

A körülbelül $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra felfűtött fém rubídiumot tartalmazó kályhából 1 mm körüli méretű nyíláson keresztül rubídiumatomok áramlanak ki 2π térszögben. A nyaláb útjába helyezett további blendével egy atomsugár áll elő. A nyalábbal szemben terjed két diódalézer féligáteresztő tükör segítségével egyesített sugara, melyeknek frekvenciája külön-külön hangolható. Az 1. diódalézer sugarának egy részét merőlegesen kereszteljük az atomsugárral. A lézersugarakra és az atomsugárra merőlegesen fotoelektron-sokszorozóval és oszcillográffal megfigyeljük az atomsugár fluoreszcenciáját az 1. diódalézer frekvenciájának függvényében, a sugarak keresztelése helyén. A két diódalézerre az alkáli rubídiumatom két hiperfinom alapnívója következtében fellépő komplikáció miatt van szükség. A releváns nívó szerkezetét a 3. ábra mutatja.

Az $F = 2,3$ alapnívó egyenletesen van populálva, ugyanis a közöttük lévő energiatávolság a termikus energiához képest nagyon kicsi. Az atomok fékezését a



3. ábra. Rb rezonanciavonalak hiperfinom term sémája

finomszerkezeti átmenet $F = 3-4$ átmenetének megfelelő frekvenciájú lézersugárral hajtjuk végre. Ezt az 1. diódalézer szolgáltatja. Ennek a sugárzása azonban csak az atomok felével lép kölcsönhatásba. Továbbá Raman-átmenettel, illetve a sebességeloszlás következtében a gerjesztett állapot további hiperfinom szerkezeti nívóival fellépő rezonancia miatt, az atomok az $F = 3$ alapállapotból az $F = 2$ alapállapotba pumpálódnak át, és az $F=3$ alapállapot kiürül. A kölcsönhatás a lézersugárral megszűnik. Ennek megakadályozására szolgál a 2. diódalézer sugara. Ez ugyanis ugyanazon finomszerkezeti átmenetben az $F = 2-3$ átmenet frekvenciájára van hangolva. A gerjesztett atomok ezáltal az $F = 2$ alapállapotból visszapumpálódnak az $F=3$ alapállapotba. Emiatt a jelenség miatt az atomsugárral szemben terjedő lézersugarak csak akkor hoznak létre rezonancia-fluoreszcenciát, ha mindkét sugár egyidejűleg jelen van. A továbbiakban ezt „longitudinális” fluoreszcenciának nevezzük.

Az 1. diódalézernek az atomsugárra merőleges sugara mindig létrehoz „merőleges” fluoreszcenciát, hiszen olyan atomokkal lép kölcsönhatásba, amelyeknek a lézersugár irányában nincs vagy a természetes vonalszélességhez viszonyítva elhanyagolható sebességszórása van. (A „látszólagos” hőmérséklet néhány mK.) Ez a fluoreszcencia-vonal adja az abszolút frekvenciajelet.

A lézerek frekvenciája nagy sebességgel hangolható, mivel a rezonátor rácsát piezokerámia mozgatja. A hűtéshez kívánatos frekvenciasöprési sebesség:

$$\beta = \frac{v_r}{\tau},$$

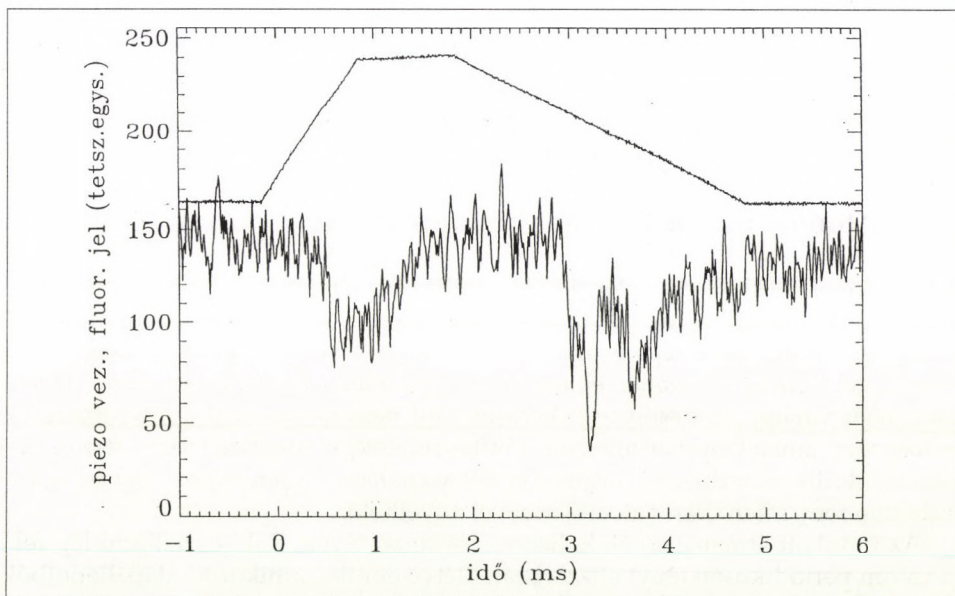
a jelen esetben $285 \text{ MHz msec}^{-1}$, τ a gerjesztett állapot élettartama ($1/\Gamma$).

A mérésben az első szakaszban az 1. diódalézer frekvenciáját először az álló atom rezonancia-frekvenciájánál kisebb frekvenciától indulva gyorsan növeltük

az „álló” rezonanciáig, majd lassan csökkentettük a kiinduló értékig. Azt várjuk, hogy a gyorsan növekedő frekvencia hűti az atomokat („torzítja” az eredetileg Gauss-sebességeloszlást), míg a csökkenő szakaszban megmérjük a keletkezett sebességeloszlást. A fluoreszcencia intenzitásának a frekvenciától való függése a sebességeloszlással arányos. A mérés eredményét a 4. ábra mutatja.

A mérésben az atomsugarat keresztező lézersugarat eltakartuk, így csak a longitudinális fluoreszcenciát figyeltük meg. Az ábra alsó görbéje a rezonancia fluoreszcencia-intenzitása az idő függvényében. A felső görbe a piezokerámia adott feszültség. A lézer frekvenciája arányos ezzel a feszültséggel.

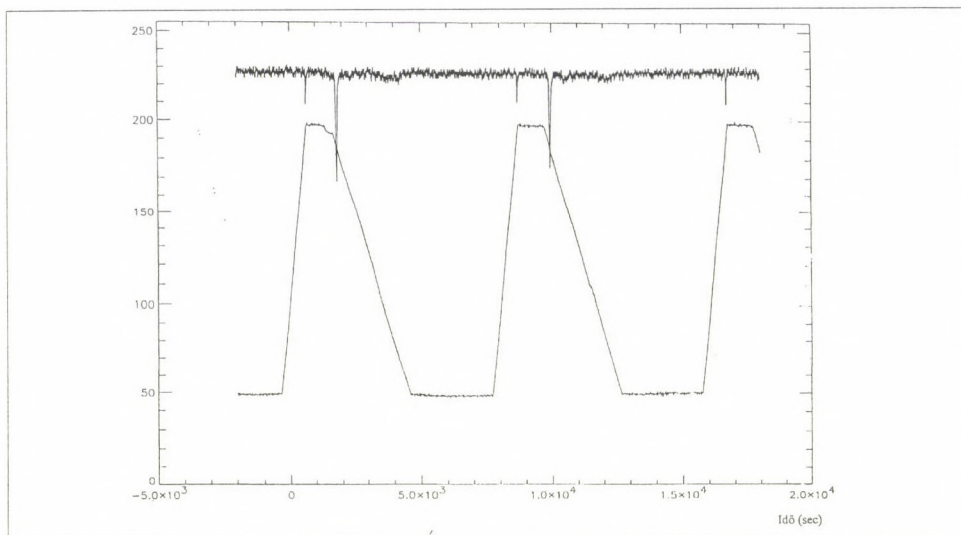
Az 5. ábra a mérőleges fluoreszcenciát és a piezofeszültséget mutatja az idő függvényében. (Ekkor az atomsugár irányába terjedő „longitudinális” lézersugarakat letakartuk.) Az álló atom fluoreszcencia-vonala kalibrálja a piezokerámia feszültségét abszolút frekvenciára.



4. ábra. Mérési eredmény. Az alsó görbe a longitudinális fluoreszcencia intenzitása, a felső görbe a piezokerámia feszültsége, amellyel a lézer frekvenciája arányos

A 2. lézer sugarának frekvenciáját nem söpörtettük. A nagy intenzitás miatt fellépő intenzitás-kiszélesedés az atomsugár sebességeloszlásának csupán felét fedte le. A hűtési folyamatban tehát csak ezek az atomok vettek részt.

A 4. ábra alsó görbéje az első szakaszban mutatja az atomsugár sebességeloszlását, ami megfelel a kályha hőmérsékletének. A második rész mutatja a hűtés után kialakult sebességeloszlást, ami egy keskeny csúcsból és a hűtési folyamatból kimaradt atomok maradék Gauss-eloszlásából tevődik össze. A csúcsnak megfelelő hőmérséklet 6 mK.



5. ábra. A felső görbe a mérőleges fluoreszcencia, az alsó görbe a piezokerámia feszültsége

Atomok hűtése frekvenciamodulált fényimpulzusokkal

A fentiekben láttuk, hogy a Doppler-lézerhűtés hőmérsékletének van egy alsó határa, amely a természetes relaxációs sebességgel, a vonalszélességgel arányos. Azonban a hűtés sebessége is arányos a vonalszélességgel. Minél keskenyebb a vonal, annál mélyebb hőmérsékletet lehet előállítani, de annál lassabban. Érdekes tehát valami más módszert keresni, ami nem támaszkodik a természetes relaxációra, ami a Doppler-hűtésnél a hűtés sebességét meghatározza. Természetesnek adódik az indukált folyamatok felhasználása, hiszen ekkor a sebesség az indukáló fény intenzitásának erősítésével növelhető.

Az indukált átmeneteknél, koherens folyamat lévén, Rabi-oszcilláció lép fel. Az atom periodikusan fényt abszorbeál, illetve emittál, amikor az alapállapotból a gerjesztettbe, majd a gerjesztettből az alapállapotba megy át. Az atom adott impulzushossz és -intenzitás esetén áll meg a ciklus közepén, azaz ha az alapállapotból indul, akkor a gerjesztett állapotban, ha gerjesztettből, akkor az alapállapotban. Az ilyen fényimpulzust π impulzusnak nevezzük. Ha két, egymással szemben haladó lézersugárban a π impulzusok periodikusan követik egymást úgy, hogy az egyik lézersugár impulzusa gerjeszti, és ezt követően a másik lézersugár impulzusa „legerjeszti” az atomot, az atom egy foton abszorpciója és emissziója után $2\hbar k$ impulzussal lökődik meg az első, abszorpciót indukáló impulzus terjedési irányába. Ha az impulzusok ismétlődési frekvenciáját növeljük, az impulzusátadás sebessége nő, tehát annál nagyobb erő hat az atomra.

Említettük, hogy ez a folyamat igen kényes az impulzus alakjára. Jobb megoldás, ha π impulzusok sorozata helyett frekvenciamodulált impulzusokat

használunk, mégpedig úgy, hogy az impulzus ideje alatt a frekvencia nagy „aláhangelésből” nagy „föléhangelésbe” megy át, miközben átfut az álló atom rezonancia-frekvenciáján. Ekkor ugyanis egy ilyen impulzus hatására az atom alapállapotból *biztosan* gerjesztett állapotba vagy gerjesztett állapotból alapállapotba kerül. A folyamat nem nagyon kényes sem a frekvenciasöpítés sebességére, sem az impulzusalakra, ha az intenzitás egy bizonyos érték felett van. Ezt a folyamatot adiabatikus átmenetnek nevezzük.

Még egy lényeges előnye van ennek a módszernek a π impulzusokhoz képest: a π impulzusoknál a frekvenciának meg kell egyeznie az atom rezonancia-frekvenciájával, vagy legalábbis annak a közelében állandónak kell maradnia az impulzus alatt, ugyanis kis elhangolódásokat az intenzitással kompenzálni lehet. A π impulzus tehát sebességeloszlással bíró atomsokaság esetén csak meghatározott sebességosztályba tartozó atomokkal lép kölcsönhatásra, és azokkal sem egyformán. A frekvenciamodulált impulzus, ha a frekvenciafutás tartománya nagyobb, mint az atomok sebességszórásából származó vonalszélesség, mindegyik atommal egyformán kölcsönhatásra lép. Tehát a sebességszórással bíró atomsokaság mindegyik atomja az alapállapotból *biztosan* (100% valószínűséggel) gerjesztett állapotba, illetve, ha gerjesztett állapotban volt, az alapállapotba vihető egy ilyen impulzussal való kölcsönhatás eredményeként.

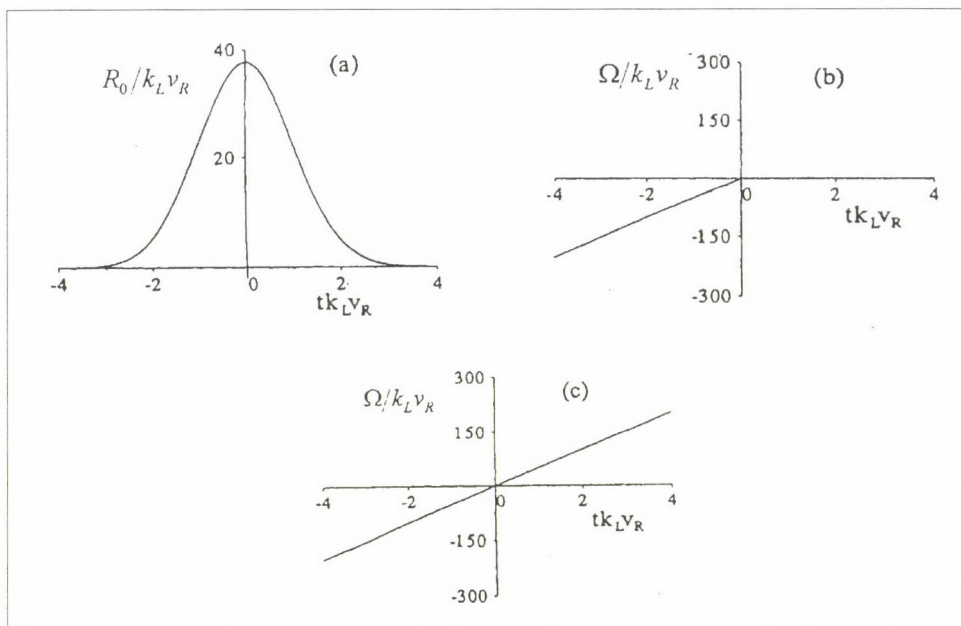
Ha tehát frekvenciamodulált lézerimpulzusok sorozata terjed egymással ellentétes irányban, a két fénysugárból az egyik impulzus gerjeszti, míg a másik fénysugárból jövő „legerjeszti” az atomot. Egy ilyen ciklus hatására az atom $2h\kappa$ impulzust kap, ugyanúgy, mint a π impulzusok esetén, csak ez a folyamat nem olyan kényes az impulzusok paramétereire.

Az atomok hűtése is lehetséges ezen adiabatikus átmenetek felhasználásával [6, 7, 8]. Ugyanis ha az atomok először egy olyan impulzussal lépnek kölcsönhatásba, amelyikben a frekvencia aláhangelő helyzetből csak az álló atom rezonancia-frekvenciájáig változik (aszimmetrikusan modulált impulzus, 6. *b* ábra), akkor a sebességeloszlásnak csak azon atomjai gerjesztődnek, amelyeknek sebessége ezen impulzus terjedési irányával szembe mutat.

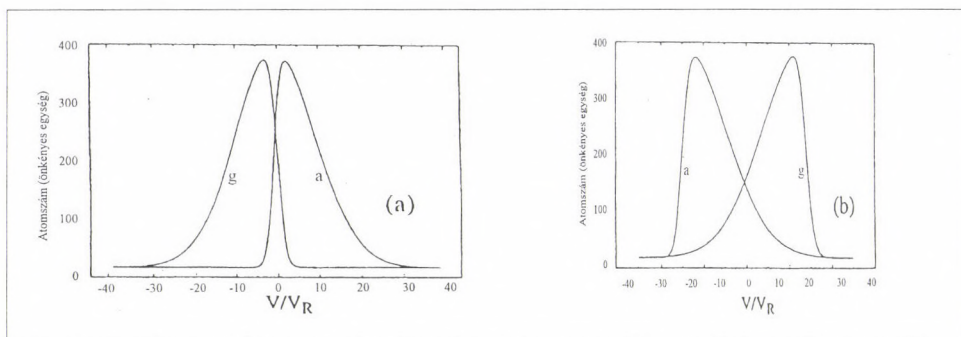
Az aszimmetrikus impulzus utáni sebességeloszlást szemlélteti a 7. *a* ábra. Itt az *a*, illetve *g* betűvel jelzett görbe az alapállapotban, illetve a gerjesztett állapotban lévő atomok eloszlását jelenti. Ha ezek után az így előkészített atomsokaság a szokásos módon szimmetrikusan (aláhangelőtől felülhangoltig) frekvenciamodulált (6. *c* ábra), kölcsönösen egymással szemben haladó impulzuspárok sorozatával lép kölcsönhatásra, a sebességeloszlás gerjesztett és alapállapotú „szárnya” egymáson áttolható a 7. *b* ábra által mutatott módon.

Ha most a 7. *b* ábra által mutatott, gerjesztett atomok eloszlását spontánul lebomlani engedjük, az alapállapotban lévő atomoknak egy közbenső eloszlása keletkezik (8. ábra).

Ezek után a procedúrát az aszimmetrikus impulzussal ismételjük. Az atomeloszlás egyik szárnya ismét gerjesztett állapotba kerül (8. ábra *g* görbe), míg a másik alapállapotban marad (8. ábra *a* görbe). Ezután újra szimmetrikus impulzuspárok következnek, és az eredményt mutatja a 9. ábra (*a*, *g* görbe). Relaxáció



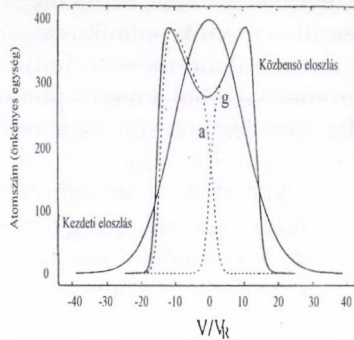
6. ábra. Frekvenciamodulált impulzustípusok. a) az amplitúdó eloszlása; b) a frekvenciamenet aszimmetrikusan modulált impulzus esetén; c) frekvenciamenet szimmetrikusan modulált impulzusok esetén



7. ábra. Atomi sebességeloszlások: a) az aszimmetrikusan frekvenciamodulált impulzus után; b) a szimmetrikus impulzuspárokkal való kölcsönhatás után; a görbe: alapállapotú atomok eloszlása; g görbe: gerjesztett állapotú atomok eloszlása

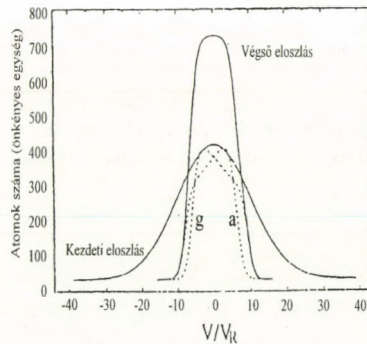
után a két ciklus utáni „végső eloszlás” láthatólag keskenyebb, mint a két ciklus előtti „kezdeti eloszlás” (9. ábra). Az atomi sokaság tehát hűlt. Tovább folytatva az eljárást, a hűtés tovább folytatható.

Hasonlítsuk össze a Doppler-hűtést a frekvenciamodulált fényimpulzusokkal való hűtéssel! Míg a Doppler-hűtésnél minden egyes $h k_L$ „lépés” után spontán re-



8. ábra. Atomi sebességeloszlások az első ciklus után; a és g görbe a második aszimmetrikus impulzus után

laxáció következett, itt a „szárnyak” összetolása után van egy relaxációs periódus. A relaxációs periódus pedig igazán időigényes folyamat, az impulzusátadás (indukált folyamat lévén) viszont nem. Az impulzusos módszernél az impulzusátadás „parallel” történik bármely sebességű atomra, míg a Doppler-hűtésnél ez a folyamat lépésszerű, soros. Az időnyereség körülbelül annyszoros, ahányszorosa az impulzusok ismétlődési frekvenciája a természetes relaxációs sebességnek. Ez rubídium esetén, 200 MHz ismétlési frekvenciánál, körülbelül hatos faktort jelent.



9. ábra. Atomi sebességeloszlások két ciklus után (a és g görbe). Végso eloszlás a relaxáció után

Összefoglalás

Két atomhűtési eljárást ismertettünk. A lézeres hűtéssel az eddigi legmélyebb hőmérsékleteket sikerült elérni. Ez mérés-technikai szempontból nagy jelentőségű. Az időmérés pontosságának fontosságát a mai kozmikus repülések időszakában

nem kell különösebben hangsúlyozni. További, eddig még nem említett tény, hogy az anyaghullámok hullámhosszát és monokromatikusságát lehet szabályozni a lézeres hűtési eljárásokkal. Ez anyaghullám-méréstechnikai felhasználásokat tesz lehetővé (atomoptika, interferometria), ahol a mérés pontosságát atomi folyamatok határozzák meg. Az eddig elért legmélyebb hőmérsékleten, amelyet lézeres hűtés után végzett nagyfrekvenciás párologtatási eljárással értek el, Bose–Einstein-kondenzáció következett be. Az ilyen atomok anyaghullámfüggvénye hasonló a lézerek sugarához. Ma, mikor a lézersugárzás igen gyors tempójú felhasználásának vagyunk tanúi, és ugyanakkor kialakulóban van az atomi méretű eszközfizika (nanotechnológia), e kutatások eredményeit nehéz túlbecsülni.

Köszönetnyilvánítás

Az előadás a KFKI Részecske- és Magfizikai, valamint a KFKI Műszaki és Anyagtudományi Kutatóintézetében Djotyan Gagik, Demeter Gábor, Ignác Péter, Kedves Mikós, Serényi Miklós, Sörlei Zsuzsa és Szigeti Gábor hozzájárulásával, az utóbbi években elért kutatási eredményeket foglalja össze.

Irodalom

- [1] Frisch, O. R.: *Zs. Phys.*, 86 (1933) 42.
- [2] Häntsch, T. W., Schawlow, A. L.: *Opt. Comm.*, 13 (1975) 68.
- [3] Balykin, V. I., Letokhov, V. S., Mishin, V. I.: *Pis'ma Zh. Exp. Teor. Fiz.*, 29 (1979) 614.
- [4] Chu, S., Hollberg, L., Bjorkholm, J., Cable, A., Ashkin, A.: *Phys. Rev. Lett.*, 55 (1985) 48.
- [5] Aspect, A., Arimondo, E., Kaiser, R., Vansteenkiste, N., Cohen Tannoudji, C.: *Phys. Rev. Lett.*, 61 (1988) 826.
- [6] Bakos J. S., Djotyan G. P., Demeter G., Sörlei Zs.: *Phys. Rev.*, 53 (1996) 2885.
- [7] Djotyan, G. P., Bakos, J. S., Demeter, G., Sörlei, Zs.: *Journ. Opt. Soc. B.*, 13 (1996) 1697.
- [8] Demeter, G., Djotyan, G. P., Bakos, J. S.: *J. Opt. Soc. Am. B.*, 15 (1998) 16.

Lézerek mikroelektronikai alkalmazása

A nyalábok nagyon kis divergenciája miatt a lézersugárzás különféle közegekben, nagy távolságra is könnyen továbbítható, és tetszőleges helyen mikroméretű területekre fókuszálható, ami kis térfogatokban extrém nagy fotonfluxust eredményez. A kibocsátott fotonok számának és a lézerimpulzus hosszának finom hangolásával az energiabevitelnek és a kölcsönhatás idejének „digitális” szabályozása lehetséges. Egy TEM_{00} módosú lézernyaláb – diffrakciólimitált leképzést lehetővé tevő optikai elemek alkalmazásával – hullámhosszméretű területre fókuszálható le. A folyamat elérhető laterális feloldása a mintázat létrehozásának mechanizmusától függ, ideális esetben $0,2\ \mu\text{m}$ -es mérettartományba eső mintázatok kialakítása lehetséges fotolitográfiai eljárásokkal. Lézeres mikrokémiai módszerek alkalmazásával még ennél kisebb vonalszélességek elérésére is nyílik lehetőség.

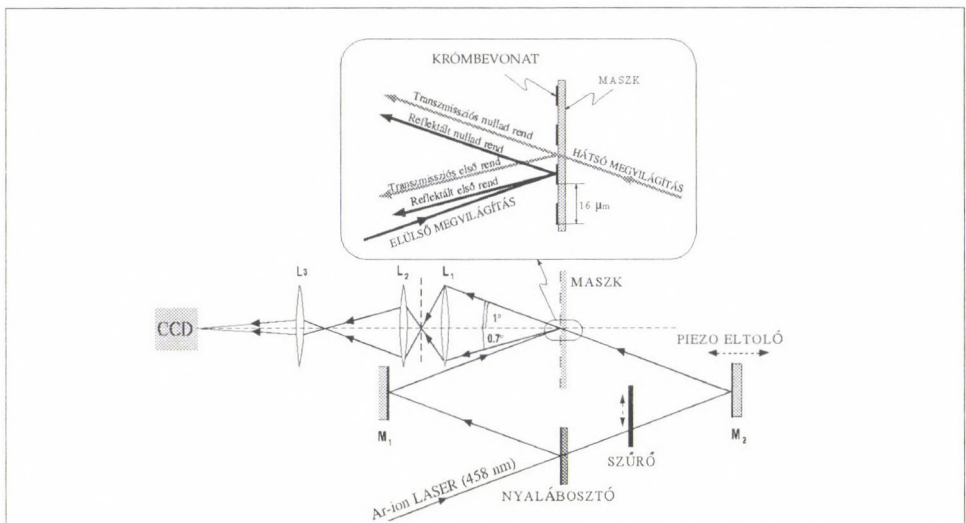
A következőkben először a JATE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén, illetve az MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoportjában a laterális feloldóképesség növelésére irányuló kutatómunka során elért eredményeket foglaljuk össze. Ezt követi egy ismert reziszt anyag, a PMMA vákuum-ultraibolya tartománybeli érzékenységeinek jellemzése. A következő részben hibás maszkok javítására szolgáló két mikromintázási technikát mutatunk be. Összefoglalónkat polimerek felületi tulajdonságainak excimer lézeres módosítására vonatkozó eredményeink zárják: megmutatjuk, hogyan lehet a kitűnően szigetelő poliimidet vezetővé, a teflont pedig ragaszthatóvá és nedvesíthetővé tenni.

A feloldóképesség és mélységélesség növelése az optikai mikrolitográfiában off-axis megvilágítással

Az optikai mikrolitográfiában alapvető cél, hogy a maszkon lévő mintázat képe leképezési hibák nélkül, a lehető legnagyobb kicsinyítéssel kerüljön a fényérzékeny lemezre. A kicsinyítés mértékét a rendszer feloldóképessége (R) korlátozza,

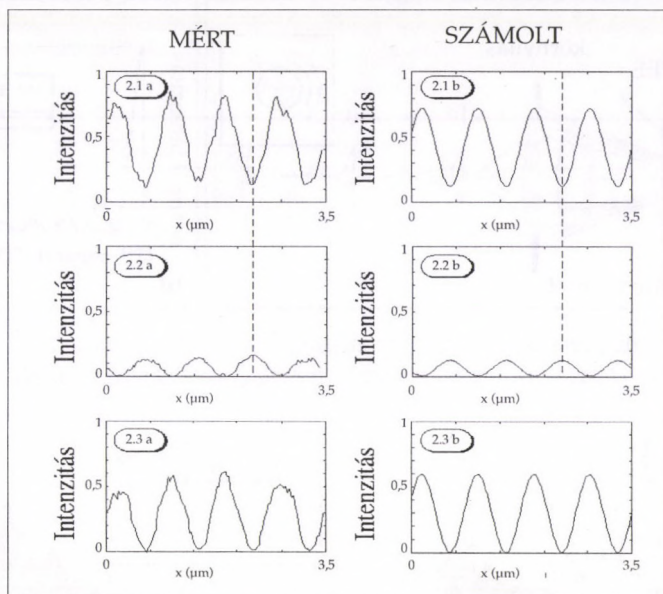
mely az alkalmazott fény hullámhosszától (λ) és a rendszer numerikus apertúrájától (NA) függ: $R \propto NA/\lambda$. Növelve a numerikus apertúrát vagy csökkentve a hullámhosszat, a rendszer feloldóképessége nő, ezzel párhuzamosan azonban a mélységélesség ($DOF \propto \lambda/NA^2$) jelentősen csökken. Ez a korlátozó feltétel arra ösztönözte a kutatókat, hogy olyan módszereket dolgozzanak ki, melyekkel a feloldóképesség és a mélységélesség egyidejűleg növelhető. Az off-axis megvilágítás egyike ezen eljárásoknak.

Ha a maszkot nem merőlegesen világítjuk meg, akkor – ellentétben a hagyományos megvilágítással, ahol a nullad rend mellett a ± 1 diffrakciós rendek is részt vesznek a leképezésben – a nullad renden kívül csak az egyik első diffrakciós rend vesz részt a leképezésben. Ennek következtében a lencse kétszer olyan finom besztású rácsot is képes leképezni, azaz a feloldóképesség kétszeresére növelhető. Az off-axis megvilágítás hátránya, hogy a diffrakciós rendek intenzitáskülönbsége miatt a kép veszít kontrasztosságából. Bebonyítottuk, hogy a maszkot egy interferométer segítségével két oldalról, szimmetrikusan kivilágítva, azaz a rácsot egyszerre használva reflexióban és transzmisszióban (1. ábra), ez a kontrasztvesztés kiküszöbölhető. A maszkra érkező nyalábok közötti fáziskülönbséget az interferométer egyik karhosszáinak finom hangolásával változtattuk, míg a nyalábok intenzitásarányát egy folytonos szűrő segítségével állítottuk be.



1. ábra. Az interferometrikus elrendezésnek köszönhetően a maszkra érkező nyalábok fázis- és amplitúdóviszonya könnyen változtatható. A maszknak az L_1 lencse által létrehozott képét egy CCD kamera segítségével vizsgáltuk

A számolt és mért intenzitás-eloszlások a 2. ábrán láthatók. A hátsó nyalábot kitarakva, a leképezésben csak a reflektált nullad és első rend vesz részt. Amint az a 2.1a, ill. 2.1b ábrákon látható, a rendek intenzitás-különbsége miatt a kép veszít kontrasztosságából: a minimumhelyeken az intenzitás nem csökken nullára.



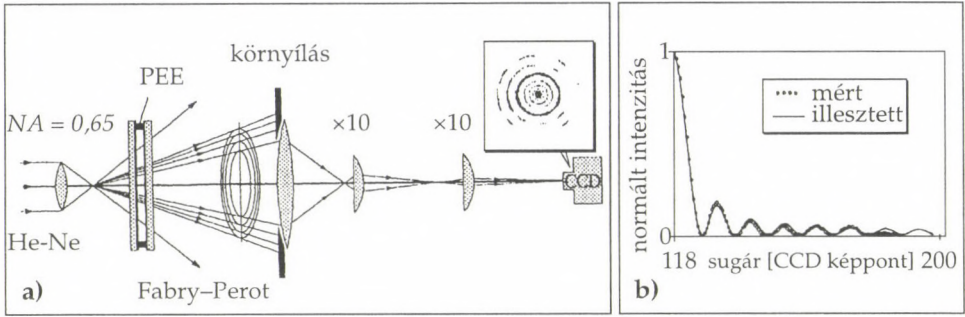
2. ábra. Mért és számolt intenzitás-eloszlások a képsíkban

A 2.2a, ill. 2.2b ábrák a hátsó nyaláb által létrehozott intenzitás-eloszlást mutatják. A folytonos szűrő segítségével elérhető, hogy a hátsó nyaláb okozta intenzitás-maximumok értéke egyenlő legyen az első nyaláb által létrehozott intenzitás-minimumokkal. Ez az egyik feltétele annak, hogy a két nyaláb együttes használata esetén a kép kontrasztja nagy legyen. A másik feltétel az, hogy a két nyaláb között π fázistolás legyen. Ez a hátsó tükör finom eltolásával érhető el. Ilyenkor a nullad rendek gyengítik, az első rendek pedig erősítik egymást. Optimális esetben a nullad rendek együttes intenzitása megegyezik az első rendek együttes intenzitásával. A 2.3a, ill. 2.3b ábrák ezt az esetet mutatják.

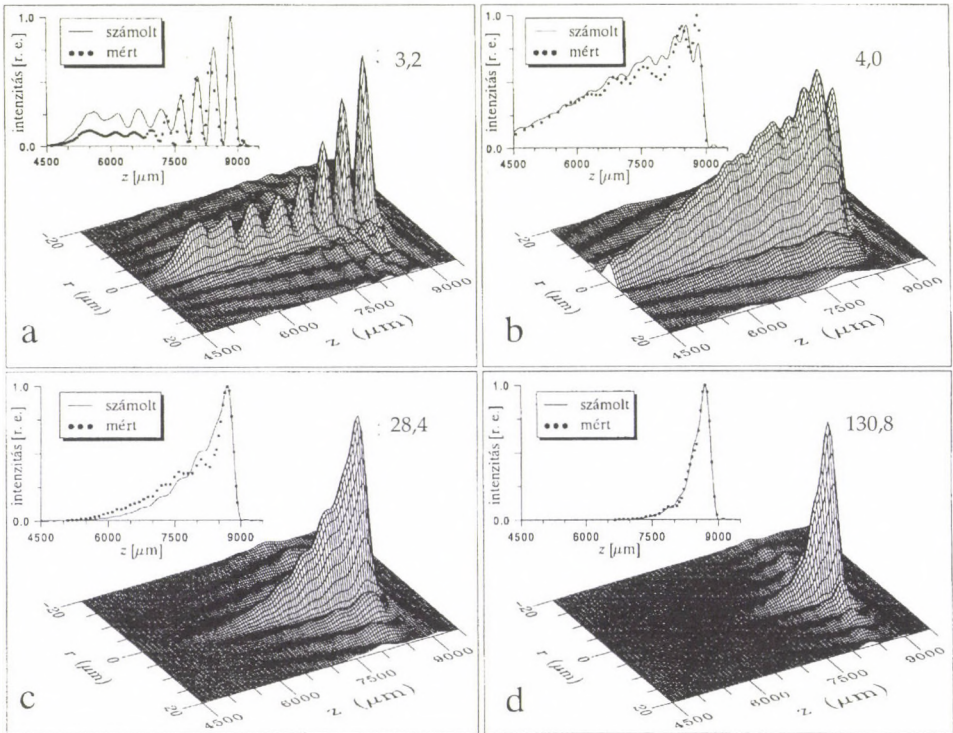
Összefoglalva: egy új, nagy feloldású fotolitográfiai eljárást fejlesztettünk ki, amely azon túl, hogy rendelkezik az off-axis kivilágítás minden előnyével, nagymértékben javítja a kép kontrasztosságát is [1].

Nem diffraktáló Bessel-nyalábok a mikrolitográfiában

A mikrolitográfiában a mélységélesség akár csak pár százalékos növelése is igen nagy eredménynek számít. Célunk egy olyan leképezési módszer kifejlesztése volt, amellyel a mélységélesség úgy növelhető meg, hogy közben a radiális feloldás nem romlik. Kísérleteinket nem diffraktáló, nullad rendű Bessel-nyalábokkal végeztük, mert ezek terjedésük során megtartják radiális intenzitás-eloszlásukat, és így triviálisan biztosítják, hogy ne romoljon a radiális feloldás.



3. ábra. A fókuszintenzitás növelésére javasolt kísérlet elvi vázlata (a) és a radiális intenzitás-eloszlás az optikai tengelyre merőleges, képponthoz közeli síkban (b)



4. ábra. A számolt térbeli intenzitás-eloszlás a kísérletben vizsgált esetekre. A csúcsok melletti számok a maximális intenzitást jelzik. A betétábrák az intenzitás optikai tengely menti eloszlását mutatják. A tengelyen a számolt intenzitást (folytonos görbe) illesztettük a mért értékekhez (pontok)

Elrendezésünk alapötletét a 3. ábra mutatja. Egy pontszerű fényforrásból a Fabry-Perot-interferométer egyenközű, virtuális fényforrások sorozatát hozza létre, melyeket egy lencsével leképezve, az optikai tengelyen egymáshoz nagyon

közel fekvő képek szuperpozícióját kapjuk [2]. Az intenzitás-eloszlást mind az optikai tengelyen, mind pedig az arra merőleges síkban CCD kamerával mértük.

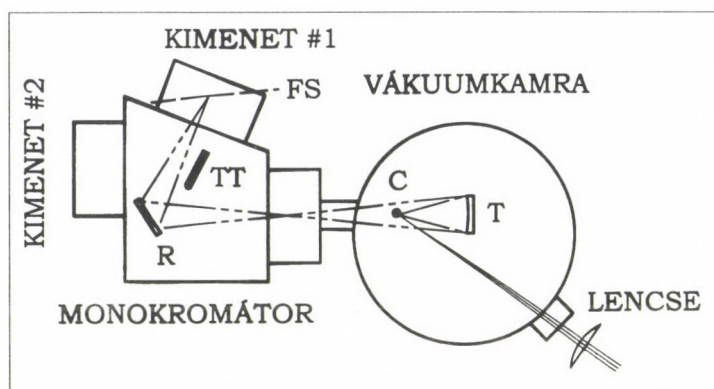
A 4. ábra az optikai tengely mentén kísérletileg mért (beszúrt ábrák) és modell-számításokkal kapott intenzitás-eloszlásokat mutatja a relatív képsűrűség különböző értékeinél. A relatív képsűrűség azt mutatja meg, hogy hány képpont esik az egyedül álló fényforrás leképezésével nyerhető mélységélességbe. A relatív képsűrűség növelése – mely kísérletileg a Fabry–Perot-interferométer bázistávolságának csökkentésével valósítható meg – azt eredményezi, hogy a kezdetben különálló képpontok ($N = 0,5$) összemosódnak, majd egy sima, kétszeresére megnövekedett mélységélességű intenzitásprofil alakul ki ($N = 8$). Kísérleti és számolási eredményeink azt is igazolták, hogy a radiális feloldás jelentősen javult ($1,6\times$), a mellékmaximumok intenzitása azonban megnőtt [3]. Módszerünk különösen alkalmas lyukak litográfiai előállítására.

PMMA fotoreziszt jellemzése a vákuum-ultraibolya hullámhossztartományban

A nagy felbontású kontaktmikroszkópia és holográfia egyik előfeltétele egy jól jellemzett, nagy felbontású reziszt. Az egyik legjobban jellemzett elektronnal- és röntgenreziszt a poli(metilmetakrilát) (PMMA). A PMMA felületére eső nagy energiájú fotonok vagy elektronok a polimer kötéseit felhasítják, csökkentve az átlagos molekulásúlyt. A megvilágított területeken nagyobb lesz az oldékonyság, s az előhívás után a reziszt felületén az expozícióval arányos mélyedéseket kapunk. Az ezen a reziszten alapuló kontaktmikroszkópia a lágyröntgen tartományban jól működik [4].

Ezt jól kiegészíthetné a vákuum-ultraibolya (VUV) hullámhosszú fényt használó kontaktmikroszkópia, hiszen a VUV sugárzás – a röntgennel ellentétben – a molekulák külső elektronjaival hat kölcsön, így a módszer érzékeny lehetne a molekuláris felépítésre és struktúrára. Míg a VUV-tartományban koherens és inkoherens fényforrások egyaránt rendelkezésre állnak, egyetlen rezisztet sem jellemeztek még a képalkotás kívánalmainak figyelembevételével. Ezért megmértük a PMMA ($M = 950\,000$) mélység-expozíció karakterisztikáit az 59–128 nm-es hullámhossztartományában, 10–500 Jm^{-2} -es expozíciókat alkalmazva. A felületen metil-izobutylketon oldószer hatására kialakuló mintázat mélységét Park Scientific típusú atomerő-mikroszkóppal mértük.

Az exponálásokat az 5. ábrán látható elrendezésben végeztük. A széles spektrumú, inkoherens VUV sugárzást egy Q-kapcsolt Nd:YAG (7 ns, 900 mJ) lézer impulzusa által gerjesztett plazma szolgáltatta, amiből az egyes sávokat a fókuszsíkban 3,4 nm/mm feloldást nyújtó monokromátorral választottuk ki. Az expozíciókhoz a monokromátor kilépő rése elé egy maszkolt PMMA-filmet helyeztünk. A maszk 5 nyílást tartalmazott, egymástól 1,25 mm távolságban, így egyszerre 17 nm széles hullámhossztartományt tudtunk exponálni. Az exponált PMMA-mintákat metil-izobutylketonban hívtuk elő.



5. ábra. A C céltárgyra lefókuszált Nd:YAG lézerimpulzus által gerjesztett VUV sugárzást a T aranytűkőr gyűjti össze és képezi le a monokromátor belépő részére.

Az R rács a fényt spektrálisan bontja, és leképezi az FS fókuszszíkra.

Az impulzus energiája a TT terelőtűkőr beforgatásával a monokromátor 2-es kimenetén mérhető

A 6. ábra 76,25 és 111,25 nm-nél mért mélységexpozíció-karakterisztikákat mutat. Ha az oldódás sebessége arányos az egységnyi térfogatban elnyelődött energia hatványfüggvényével, a Beer–Lambert-törvény figyelembe vételével megmutatható [5], hogy a kioldódott mélység:

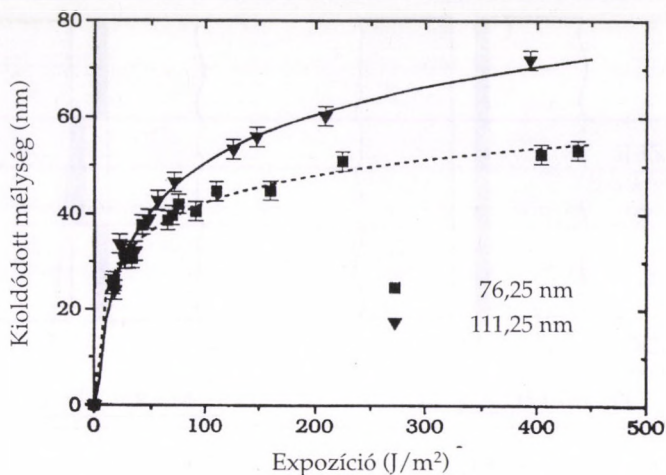
$$z(t) = \frac{1}{n\alpha} \ln \frac{R_0 e^{\alpha R_0 t^n} + \kappa S^n (e^{\alpha R_0 t^n} - 1)}{R_0},$$

ahol t az idő, n a hatványkitevő, α az abszorpciók együttható, S az expozíció, R_0 az exponálatlan polimer oldódási sebessége és κ egy arányossági tényező, amely a beeső foton kötésfelhasználó képességére jellemző. A PMMA abszorpciók együtthatóját a mérési pontokra illesztett görbékből számoltuk.

Mivel atomerő-mikroszkópiával 2 nm-es szintkülönbség jól megkülönböztethető, és 20 Jm⁻²-es expozíció 20 nm mély struktúrát hoz létre, tíz intenzitásint nagy biztonsággal feloldható, ami ígéretes eredmény mind a kontaktmikroszkópia, mind a holográfia szempontjából.

Lézeres vékonyréteg-átmásolás

A mikroelektronikai iparban alkalmazott optikai maszkok előállításánál kétféle hiba állhat elő: vagy ott is van átlátszatlan réteg (jellemzően króm), ahol a maszknak átlátszónak kellene lennie: *fedett hiba*, vagy átlátszó ott, ahol átlátszatlan réteggel fedettnek kellene lennie: *átlátszó hiba*. A szeletméretek és az áramkörök bonyolultságának folytonos növekedése miatt egyre nagyobb a maszkok mérete és bonyolultsága is, tehát egyre drágább az előállításuk. Ezért egyre fon-



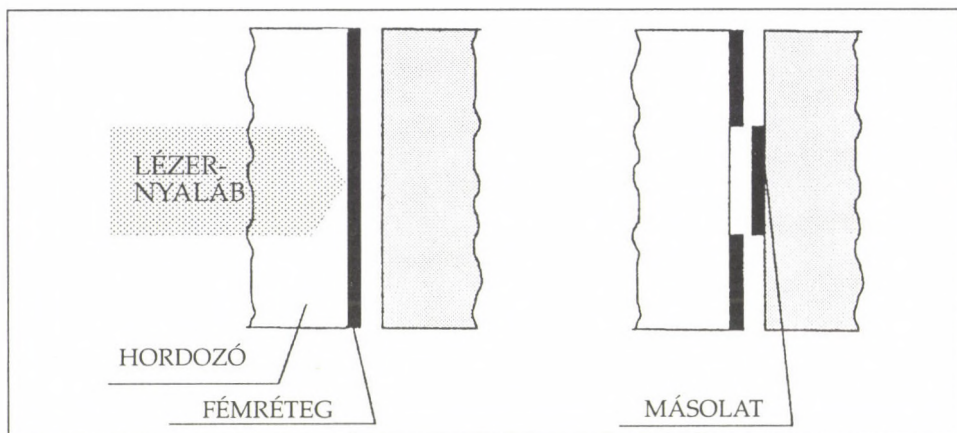
6. ábra. A kioldódott reziszt mélysége az expozíció függvényében két hullámhossznál. A szimbólumok mért pontokat jelölnek, míg a görbéket az egyenlet alapján illesztettük

tosabb, hogy a teljes maszk ismételt előállítás helyett képesek legyünk a maszk hibáit kijavítani.

A fedett hibák javítására általánosan elterjedt módszer a krómréteg elpárologtatása egy lézerimpulzussal a kérdéses területről. Nehezebb feladat az átlátszó hibák korrekciója. Bár a lézeres direktírási technika itt is alkalmazható (amire az iparban találunk is példákat), a szükséges gázkeverékek mind munkavédelmi, mind környezetvédelmi szempontból komoly problémát jelentenek.

Az általunk alkalmazott megoldás alapgondolata a következő: amikor ablációt hajtunk végre, ne hagyjuk elveszni azt az anyagot, amelyet a lézerimpulzussal a felszínről eltávolítottunk, hanem fogjuk fel azt azon a felületen, ahol arra szükség van! Ez a módszer úgy működik, mint ahogy az indigópapírral másolatot készítünk (7. ábra), ezért az eljárást lézeres vékonyréteg-átmásolásnak nevezzük [6, 7].

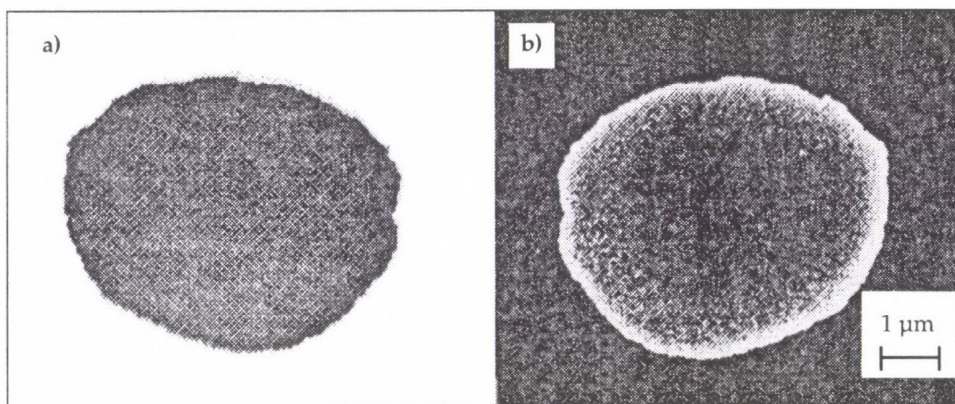
Bár az elv nagyon egyszerű, a maszktechnológia követelményeinek megfelelő másolatok létrehozásához nagyon megfontoltan kell megválasztani mind a hordozó-fémréteg párost, mind a megmunkáló lézerimpulzus energiáját, hosszát és időbeli lefutását. Krómrétegből kiindulva például nem sikerült egybefüggő másolatot létrehozni, mert a króm olyan jól tapad az üveg hordozóra, hogy képtelenség egy darabban eltávolítani a felületről. Kimutattuk viszont, hogy a vanádiumot, volfrámot, titánt, ónt stb. szilárd állapotban, egyetlen impulzussal, akár milliméteres foltokban is el lehet távolítani a hordozóról. A nanoszekundumos impulzusokkal átmásolt mintázatok nem tapadtak megfelelően a megmintázni kívánt felülethez, mert az igen vékony réteg landolás után túl gyorsan hűlt ki. Hogy ezt elkerüljük, az eltávolítás→megtapadás folyamatának időtartamát meg-



7. ábra. A lézeres vékonyréteg-átmásolás elve

nyújtottuk. A legjobb eredményeket néhány száz nm vastag volfrám vékonyrétegek néhány száz mikroszekundum hosszúságú lézerimpulzusokkal történő átmásolásával kaptuk. A 8. ábra meggyőzően igazolja a módszer teljesítőképességét.

A vékonyréteg-átmásolás részfolyamatainak feltérképezésére, illetve ezek jellemző időtartamának meghatározására egy olyan berendezést építettünk [7],



8. ábra. 100 nm vastag volfrám vékonyrétegen keletkező lyuk (a) és a másolat (b) pásztázó elektronmikroszkópos felvétele.
Az impulzus hossza 1 ms, maximális teljesítménye 64 mW

amely a mikromegmunkálási feladat elvégzése mellett folyamatosan információt is gyűjtött a rendszer állapotáról. A számítógép-vezérelt diódapumpált Nd:YAG (DPY 321) lézer, kb. 20 μ s minimális impulzusszélesség mellett, bármilyen előre programozott alakú és idejű, a megmunkálandó felületen kb. 430 mW csúcstelje-

sítményű impulzus előállítására képes volt. A másolás után a lézer fényének a megvilágított felület által áteresztett, ill. visszavert részét fotodiódák detektálták, és az időben bontott információt egy digitalizáló tároló oszcilloszkópon keresztül ugyancsak a számítógép dolgozta fel.

Az idő függvényében regisztrált reflexió- és transzmisszió-adatok kiértékelése alapján megállapítottuk, hogy az anyagátmásolási folyamat egyes lépései jól definiált küszöbhőmérsékleteknél kezdődnek, tekintet nélkül a lézerimpulzus ezen pillanatot megelőző részének alakjára, továbbá hogy a lézerimpulzus további részének megfelelő programozásával olyan másolási körülményeket és lokális hőkezelést biztosíthatunk, amely az átmásolt alakzat kitűnő tapadását eredményezi. Míg a nanoszekundumos impulzusokkal kiváltott átmásolási folyamatok esetében időben világosan különválnak az eltávolítás, a transzfer és a megtapadás egymásutánja, a néhány száz μ s-os impulzusok esetén a hordozó és a megmintázni kívánt szubsztrát hőtágulásából származó mechanikai deformáció a meghatározó lépés: a másolás a két felület lokális egymásba nyomódása eredményeként jön létre.

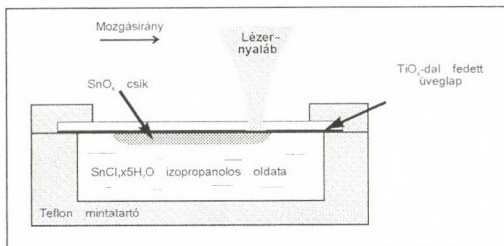
Mikromintázatok lézeres direktírása

Ha az egyszerűen és gyorsan formálható és irányítható lézernyalábot úgy mozgatjuk a felületen, mint ahogy például a ceruzánkkal írunk, akkor ott, ahol a lézerfolt végigvándorol a felszínen, beindulnak a megcélzott reakciók, és az anyag igényeink szerint átalakul, a kívánt anyagból készült rajzolatot hagyva maga mögött. Ezt az eljárást *lézeres direktírásnak* nevezzük, amelynek eredménye lehet az, hogy a felszínen anyag rakódik le, vagy lemarunk a felszínről egy vékony réteget, esetleg a már ott lévő anyagokból hozunk létre új vegyületet.

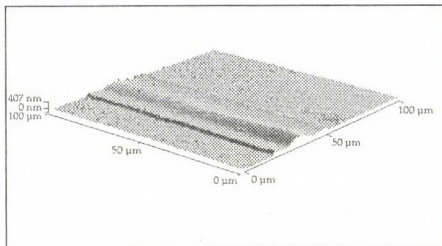
Felmerül a kérdés, mikor érdemes anyagleválasztásra lézeres direktírást alkalmazni. Ez a módszer akkor előnyösebb a litográfiánál, ha a megmunkált anyag drága vagy nagyon ellenálló, és ezért olyan durva kémiai eszközökkel kellene nekiesni, amelyek károsíthatják az alatta lévő struktúrákat; vagy amikor kis szériában, netán egyedileg kell a rajzolatokat elkészíteni: pl. prototípus-fejlesztésnél; vagy amikor csődöt mondanak azok a technikák, amelyek csak sík felületen működnek.

A lézeres direktírás egyszerű esete az, amikor maga a megmintázni kívánt felület nyeli el a lézer fényét, kialakítva egy „mini főzőlapot”, amelyre a körülötte lévő gázból vagy folyadékból a molekulák hőbomlása révén anyag rakódik le. Ezzel a módszerrel volfrám-, arany-, molibdén-oxid és ón-dioxid mintázatokat állítottunk elő [8–10]. A volfrámot és az aranyat a mikroelektronika jó vezetőképességük miatt alkalmazza, a molibdén-oxid katalizátoranyag, a nem-sztöchiometrikus ón-oxid pedig akkor nélkülözhetetlen, ha elektromosan vezető és mégis átlátszó anyagra van szükség.

Az ón-oxid előállítására $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ alkoholos oldatát rétegeztük a felületre, majd egy Ar^+ lézer fókuszált nyalábját ezen végigfuttatva (9. ábra), keskeny SnO_x csíkokat rajzoltunk.



9. ábra. Az SnO_x leválasztás
sematikus vázlata

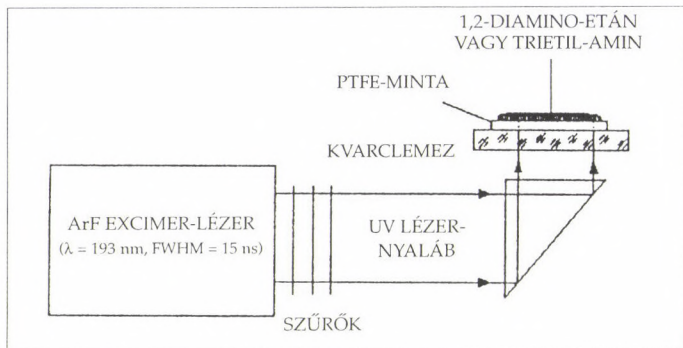


10. ábra. $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ izopropanolos
oldatából 67 mW lézerteljesítménnyel,
0,97 mm/s írási sebességgel leválasztott
csík atomierő-mikroszkópos képe

A 10. ábrán egy ilyen csík atomerő-mikroszkóppal felvett topografikus képét mutatjuk be. A fajlagos vezetés értéke $76 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, tehát a mintázat elektromos tulajdonságait illetően semmiben sem marad el az iparilag előállított SnO_x -rétegektől. Ráadásul lézeres direktírással olyan mikroméretű mintázatokat is létre tudunk hozni, amelyek előállítására az iparban meghonosodott technikák képtelenek.

Teflon- és poliimid-felületek kémiai módosítása excimer lézerrel

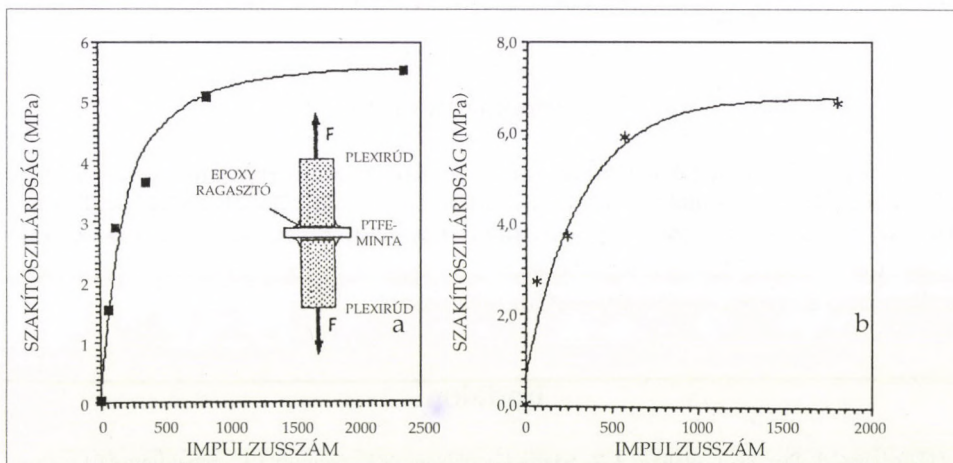
A poli(tetrafluoretilén) (PTFE vagy teflon) a fizikai és kémiai tulajdonságok egyedülálló kombinációjával rendelkezik: fajlagos ellenállása 150°C -ig hőmérséklet-független, relatív dielektromos állandója $50\text{--}10^{10}$ Hz-ig gyakorlatilag állandó, és



11. ábra. Teflon minta felületkezelése

250 °C alatt hőmérséklet-független is. Igen kicsi súrlódási tényező, jó hőmérsékleti stabilitás és nagyfokú kúszóáram-, ívfény-, vegyszer- és időjárás-állóság jellemzi. A teflonnak kicsi a felületi energiája, következésképp nem nedvesíthető és nem ragasztható, egyidejűleg hidrofób és oleofób. Ezek az önmagukban értékes tulajdonságok azonban azt is jelenti, hogy ha kapcsolatot kell kialakítanunk a teflon és valamely más anyag között, komoly nehézségekkel számolhatunk. A teflonfelület adhéziójának megnövelése komoly kihívás.

Kimutattuk, hogy a teflon felületét 193 nm-es ArF excimer lézerrel 1,2-diamino-etán vagy trietil-amin jelenlétében megvilágítva (11. ábra), a felület tapadási tulajdonságai jelentősen javíthatók: az 1000 lézerimpulzussal kezelt teflon filmek szakítószilárdsága 15-200-szorosára, 6 MPa-ra növekedett (12. ábra). A töretfelület atomerő-mikroszkópos vizsgálata igazolta, hogy a szakadás a teflon film belsejében következett be, azt bizonyítva, hogy a felület és az Epoxy ragasztó közti adhézió nagyobb, mint a teflon kohéziója. A lézerrel kezelt felületeket sikeresen fémeztük.

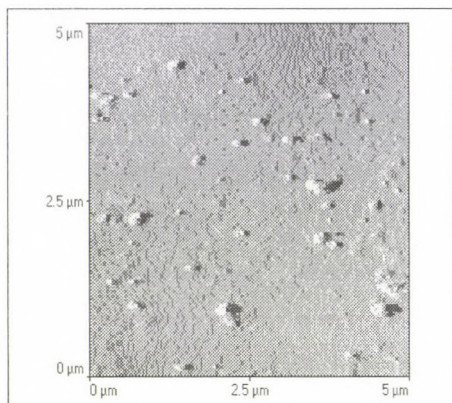


12. ábra. Teflonfelület szakítószilárdságának függése a lézerimpulzusok számától 1,2-diamino-etán (a) és trietil-amin (b) esetében

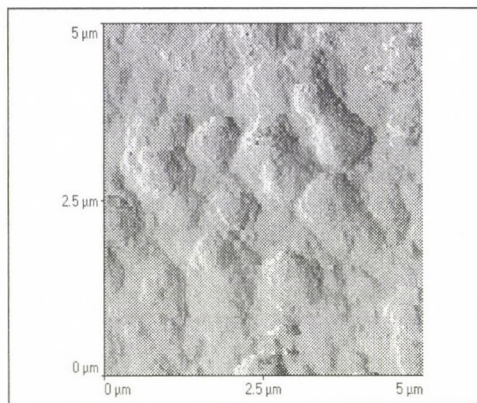
A teflon felületi rétegében lejátszódó – a fluoratomokat alkil-, illetve amincsoportokra cserélő – fotokémiai reakció hatáskeresztmetszetére, nedvesedési szög és XPS mérésekből, 10^{-17} – 10^{-18} cm² értéket kaptunk [11, 12].

A mikroelektronikai ipar érdeklődése a poliimid mint alacsony dielektromos állandójú szigetelő iránt folyamatosan nő. A poliimid felületét 30–80 mJ/cm² energiasűrűségű KrF excimer lézerimpulzusokkal megvilágítva, a vezetőképesség 16 nagyságrendnyi növekedése érhető el. Mint ahogy az a 13. ábrán látható, már néhány impulzus elegendő ~50 nm-es, különálló szénkristallitok keletkezéséhez. További impulzusok hatására a kristallitok száma nő, és néhány száz impulzus után összefüggő szénréteg alakul ki a felületen (14. ábra).

A kezelést nitrogén atmoszférában végezve, stabilabb réteg állítható elő.



13. ábra. 20 impulzussal megvilágított poliimid-felület atomierő-mikroszkópos képe



14. ábra. Több száz impulzussal megvilágított poliimid-felület atomierő-mikroszkópos képe

Köszönetnyilvánítás

Az előadás az MTA Lézerfizikai Tanszéki Kutatócsoportjában, illetve a JATE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén, Bor Zsolt, Erdélyi Miklós, Ferincz István, Geretovszky Zsolt, Hopp Béla, Horváth L. Zoltán, Kántor Zoltán, Kelemen Lóránd, Révész Károly és Szabó Gábor hozzájárulásával, az utóbbi évben elért kutatási eredményeket foglalja össze.

Irodalom

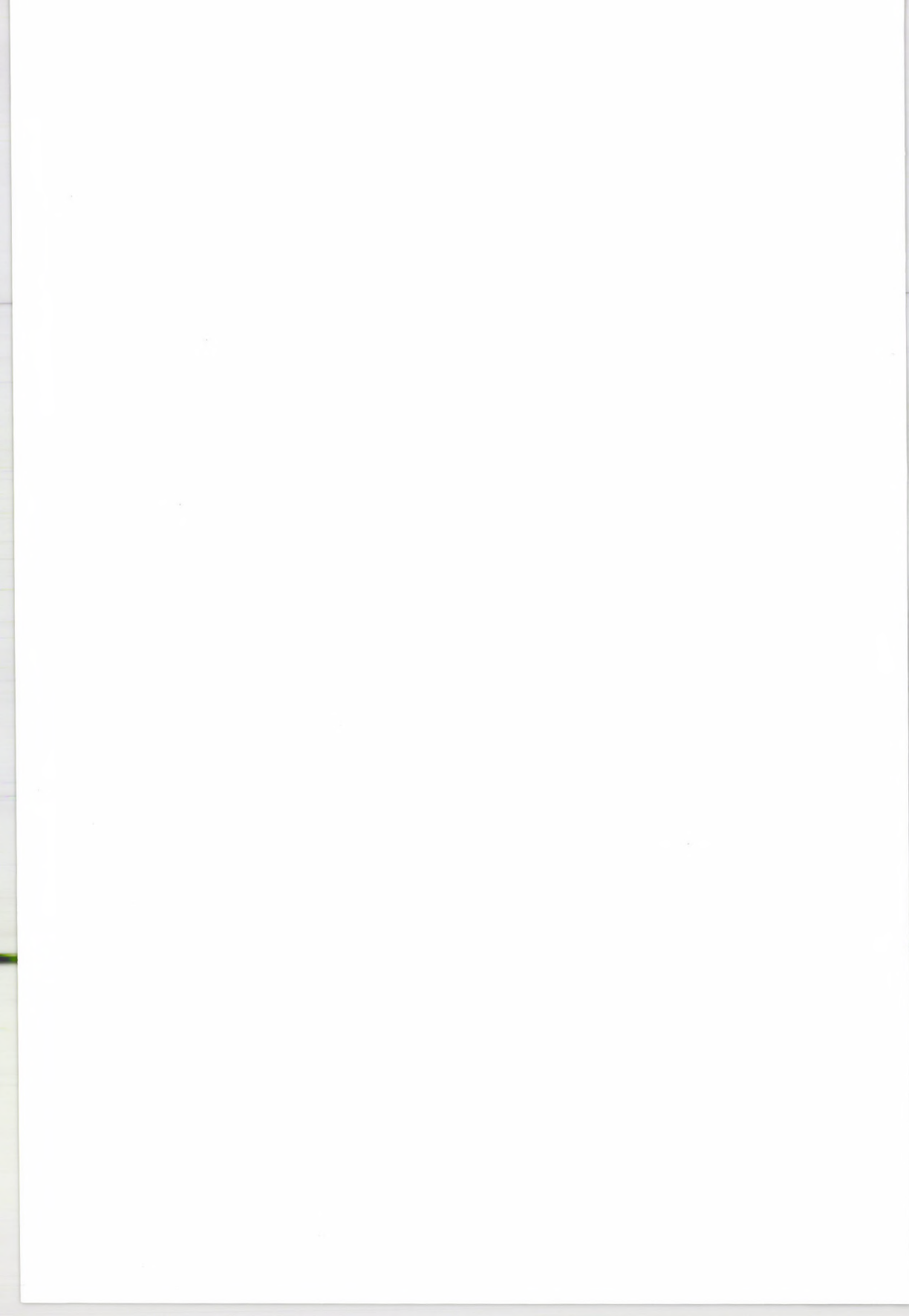
- [1] Erdélyi, M., Bor, Zs., Cavallaro, J. R., Szabó, G., Wilson, W. L., Sengupta, C., Smayling, M. C., Tittel, F. K.: Enhanced Microlithography Using Combined Phase Shifting and Off-Axis Illumination. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 34 (1995) L1629-L1631.
- [2] Horváth, Z. L., Erdélyi, M., Szabó, G., Bor, Zs., Tittel F. K., Cavallaro, J. R.: Generation of nearly nondiffracting Bessel beams with a Fabry-Perot interferometer. *J. Opt. Soc. Am.*, A14 (1997) 3009–3013.
- [3] Erdélyi, M., Horváth, Z. L., Szabó, G., Bor, Zs., Tittel, K. F., Cavallaro, J. R., Smayling, M. C.: Generation of diffraction-free beams for applications in optical microlithography. *J. Vac. Sci. Technol.*, B15 (1997) 287–292.
- [4] Michette, A. G., Morrison, G. R., Buckley, C. J. (szerk.): *X-ray Microscopy III.*, Berlin, Springer Verlag, 1992.
- [5] Hawryluk, R. J. et al.: Energy dissipation in a thin polymer film by electron beam scattering: Experiment. *J. Appl. Phys.*, 46 (1975) 2528–2537.
- [6] Kántor, Z., Tóth, Z., Szörényi, T.: Metal Pattern Deposition by Laser-Induced Forward Transfer. *Appl. Surf. Sci.*, 86 (1995) 196.
- [7] Kántor, Z., Szörényi, T.: Dynamics of long-pulse laser transfer of micrometer-sized metal patterns as followed by time-resolved measurements of reflectivity and transmittance. *J. Appl. Phys.*, 78 (1995) 2775.

- [8] Bali, K., Geretovszky, Zs., Tóth, A. L., Szörényi, T.: The Effect of Process Parameters on O/Mo Ratio in Laser Deposition of Molybdenum Oxides from Aqueous Solutions. *Appl. Surf. Sci.*, 86 (1995) 500–503.
- [9] Geretovszky, Zs., Kelemen, L., Bali, K., Szörényi, T.: Kinetic Model for Scanning Laser Induced Deposition from Liquid Phase. *Appl. Surf. Sci.*, 86 (1995) 494–499.
- [10] Szörényi, T., Geretovszky, Zs., Tóth, J., Simon, A., Cserhádi, Cs.: Laser direct writing of tin oxide patterns. *Vacuum*, 50 (1998) 327–329.
- [11] Révész, K., Hopp, B., Bor, Zs.: Excimer laser induced surface chemical modification of polytetrafluoroethylen. *Appl. Surf. Sci.*, 109/110 (1997) 222–226.
- [12] Révész, K., Hopp, B., Bor, Zs.: Excimer laser induced surface photochemical reaction of 1,2-diaminoethane with poly(tetrafluoroethylene). *Langmuir*, 13 (1997) 5593–5601.

JÁNOSSY ANDRÁS

Antiferromágneses domének $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ rendszerben

Gadolinium doppolt antiferromágneses $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ egykristályokat elektronspin-rezonancia módszerrel tanulmányoztunk. Ez a rendszer a magas hőmérsékletű szupravezetők prekursora, amelyben a CuO_2 síkok antiferromágnesesen rendezettek. Gd^{3+} ESR-rel a CuO_2 legfontosabb mágneses tulajdonságai meghatározhatók. Megmutattuk, hogy az antiferromágnesség elrontja a tetragonális kristályszimmetriát. A rendszerben egymásra merőleges mágneses domének lépnek fel, melyek már kis mágneses térben átrendeződnek. Az előadásban részletesen tárgyaltuk a doméneket szétválasztó mágneses falak lehetséges eredetét. Az egyik lehetséges modell szerint ezek a falak elektromosan töltöttek, és a manapság divatos „stripok” megfelelői. A másik, kevésbé exotikus elképzelés szerint a doméneket szerkezeti hibasíkok határolják.



Szilárd testek stabilitásának „ab initio” számítása

A külső térben mozgó elektronok teljes energiájának kvantummechanikai számítási módszerei az elmúlt évtizedekben hatalmas fejlődésen mentek keresztül. Ez elsősorban az ún. „sűrűségfunkcionál-elmélet” kifejlesztésének köszönhető, amelyben az 1998-ban Nobel-díjat kapott Walter Kohn úttörő szerepet játszott. Ehhez járul a számítógépek memóriakapacitásának és sebességének rohamos fejlődése, amelynek eredményeképp a kvantummechanikai számítások már képesek választ adni az alkalmazások által felvetett komplex kérdésekre.

Az előadás először az általunk kifejlesztett ún. „teljes töltéssűrűség-módszert” ismertette röviden, amelyben a potenciál gömbszimmetrikus, míg a töltéssűrűség és energijáruléka pontosan tükrözik az adott rendszer (felület vagy „bulk” szilárd test) szimmetriáját. A módszer elegendő pontosságot biztosít számos, a stabilitással kapcsolatos kérdés megválaszolására. A stabilitási problémák számítási nehézsége abból fakad, hogy nagy energiatagok rendkívül kis különbsége szabja meg, hogy pl. melyik szerkezet stabil, vagy milyen felületi rekonstrukció jön létre egy adott felületen, ami nagy számítási pontosságot igényel.

Néhány a felvetett és megválaszolt kérdések közül:

- Mi a mikroszkopikus magyarázata az átmeneti fémeknél megvalósuló kristályszerkezeteknek? (Pl. a sorozatok közepén levő fémeknél miért a tércentrált köbös szerkezet stabil?)
- Az f-elektron rendszereknél megvalósuló bonyolult kristályszerkezeteknek mi az elektronszerkezeti magyarázata?

Az elmélet számára ma is kihívást jelent a sajátos mágneses tulajdonságú perovszkitokban (pl. $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$) megfigyelt, mágneses tér által indukált szerkezeti fázisátalakulás magyarázata.

Felületek esetén a stabilitási kérdések különböző konfigurációjú felületi elrendeződések teljes energiaszámításra vezethetők vissza. Itt választ kapunk olyan kérdésekre, mint:

- Miért az arany a „legnemesebb” fém?

- Milyen egyensúlyi alakjuk van a nanométeres mérettartományba eső fémrészecskének?
- Mi szabja meg, hogy mágneses vékonyréteg-szerkezeteknél a mágnesezettség a felületre merőleges vagy azzal párhuzamos irányú?

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy az első elvekből kiinduló teljes energiaszámítások egyre pontosabb válaszokat képesek adni egyre bonyolultabb kérdésekre, így egyre jelentősebb szerepet játszanak az alkalmazásokban, beleértve még az ipari alkalmazásokat is.

BORTEL GÁBOR, FAIGEL GYULA,
OSZLÁNYI GÁBOR, PEKKER SÁNDOR,
TEGZE MIKLÓS

„Nobel-díjas molekulák” polimerei

Az 1990-es években a fizikában, majd röviddel ezután a kémiában is az egyik legdinamikusabb és legérdekesebb kutatási terület a fullerének vizsgálata. Ezt tükrözi az 1996-os kémiai Nobel-díj, amelyet a fullerénmolekulák felfedezéséért kapott Robert Curl, Harold Kroto és Richard Smalley. A szén ezen új formája és tulajdonságai önmagában is érdekesek, de az igazán széles körű vizsgálatok akkor indultak meg, amikor a fullerénmolekulákkal alkotott vegyületek is megjelentek. Ezek közül az egyik legígéretesebb család a C_{60} alapú polimerek.

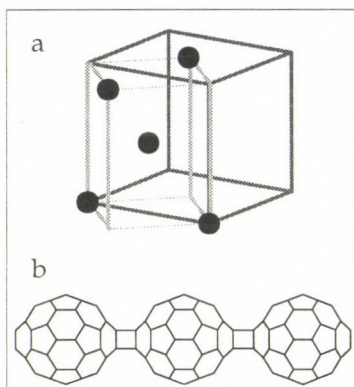
A C_{60} alkotta polimerekről először 1993-ban számoltak be Rao és munkatársai. Ők fény segítségével polimerizáltak C_{60} -filmet. A szerkezetet a tömb C_{60} -fcc rácsából kiindulva próbálták megérteni, de ez azóta sem sikerült. A kialakult kötés-konfigurációra sincs egyértelmű röntgeneredmény. Más, indirekt mérésekből egy négyes gyűrűs kötés-konfigurációt javasoltak, amely fotonok által indukált 2+2 cikloaddíció során alakul ki.

Kb. ugyanebben az időben a fizikusokat a C_{60} alkálifémekkel alkotott sói köötték le, mivel ezek között meglehetősen magas átmeneti hőmérséklettel (30-40 K) rendelkező szupravezetőket is találtak. Ezek voltak az A_3C_{60} típusú anyagok. Csoportunk a Szilárdtestfizikai Kutatóintézetben ugyancsak a C_{60} alkálisóival foglalkozott, azonban egy más összetételt vizsgált, az A_1C_{60} -at.

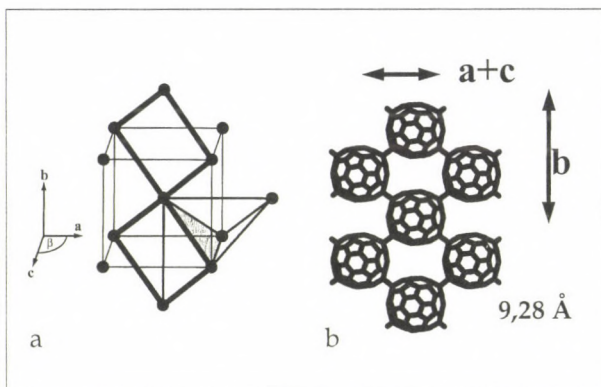
Kutatásaink egy kristályos, lineáris polimer felfedezéséhez vezettek (1. b ábra). Ezt az eredményt különösen nehéz volt elfogadtatni, mivel az addig felfedezett számos alkáli C_{60} vegyület között egy sincs, amelyben kovalens kötések volnának, és szerkezetük köbös, akárcsak a tiszta C_{60} -é. Az A_1C_{60} polimernek ortorombos rácsa van, melynek a köböshöz való viszonyát jól szemléltethetjük a köbös rács egy tetragonális cellával való reprezentációjával (1. a ábra). A kovalens kötések irányában egy erőteljes, közel 1 Å nagyságú cella-összehúzódas tapasztalható, így alakul ki az ortorombos cella.

Kémiai és szerkezeti megfontolások, ill. kvantumkémiai számolásaink azt mutatták, hogy az alkáli C_{60} rendszerben még további polimereknek is létezniük kell. Vagyis a számítások szerint különböző kötés-konfigurációkra a polimer, ill. dimer

energiája függ a molekulák töltésállapotától, és léteznek nagyon alacsony energiájú konfigurációk is. Azt találtuk, hogy négyes töltésállapotnál egy új polimer megjelenése valószínű. Ezt sikerült szintetizálni is Na_4C_{60} összetétellel. A szerkezetet a 2. a ábra mutatja. A rács tércentrált monoklin, egy-egy molekula 4 db egyes kötéssel kapcsolódik a szomszédokhoz (2. b ábra).



1. ábra. Az A_1C_{60} típusú
($\text{A} = \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}$) polimerek
rácsa és a kialakuló
kötés-konfiguráció
(négyes gyűrűs)



2. ábra. A Na_4C_{60} rácsa és a polimersíkkbeli
kötés-konfiguráció (egy-egy kötések)

A C_{60} polimerok kutatása jelenleg is aktív terület, különösen érdekes a tiszta C_{60} fotopolimer szerkezetének kérdése. A közeljövőben erre összpontosítjuk kutatásainkat.

Sztohasztikus diszlokáció-dinamika

Régóta ismert tény, hogy a kristályos anyagok plasztikus deformációjáért felelős diszlokációk az anyagban nem homogén módon helyezkednek el. A deformáció módjától, ill. hőmérsékletétől függően különböző típusú diszlokáció-mintázatok (cellaszerkezet, létraszerkezet, labirintusstruktúra stb.) alakul ki. A nagy mennyiségű kísérleti és elméleti eredmény ellenére a mintázatképződés pontos oka jelenleg még nem tisztázott. A modellalkotás legnagyobb nehézsége az, hogy a diszlokációk közötti kölcsönhatás hosszú hatótávolságú, így a diszlokációk átlagos távolságához képest nagy távolságban levő diszlokációk közötti kölcsönhatást is figyelembe kell venni.

A probléma egyik lehetséges megközelítése a számítógépes szimuláció. A leg-egyszerűbb eset, ha egyenes párhuzamos diszlokációkból álló rendszert tekintünk. (Fárasztásos deformációval ez kísérletileg is előállítható.) Feltételezve, hogy a diszlokációk túlcillapított, súrlódásos mozgást végeznek, a diszlokáció-rendszer mozgásegyenlete numerikusan integrálható. Azonban mivel a hosszú hatótávolságú kölcsönhatás következtében minden egyes diszlokációpár közötti erőhatást ki kell számolni, a numerikus integrálás nagyon számításigényes. Ezért ezzel a módszerrel maximálisan néhány ezer diszlokáció kollektív viselkedése vizsgálható. Az Edinburgh Parallel Computing Centre-ben elvégzett szimulációink eredményei azt mutatják, hogy bizonyos deformációs szintnél a diszlokáció-rendszeren egy rend-rendezetlen átalakulás zajlik le, s ennek következtében cellaszerkezet alakul ki [1].

Tekintettel arra, hogy az ilyen szimulációkban megengedhető néhány ezer diszlokáció nem elegendő a mintázat tulajdonságainak pontos feltérképezéséhez, kidolgoztunk egy sztohasztikus közelítésen alapuló modellt. A módszer alapja az a numerikus megfigyelés, hogy a rendszer időfejlődése során az egy diszlokációra ható erő jó közelítéssel felbontható egy időben lassan változó átlagtértől származó és egy irreguláris komponensre. Felhasználva a gravitációsan kölcsönható pontrendszerre kidolgozott módszert, sikerült analitikusan meghatározni a diszlokáció-rendszerben egy adott pontban kialakuló feszültségtér valószínűség-

sűrűség-függvényét [2]. Ennek alapján, az általunk javasolt sztohasztikus megközelítésben, a diszlokációkra az átlagos önkonzisztens tér [3] mellett egy, a fenti eloszlásfüggvénnyel rendelkező véletlen erő hat. A modell lehetővé teszi a diszlokációk számának jelentős növelését ($\sim 10^6$ diszlokáció) a szimulációkban. Ezzel a módszerrel sikerült reprodukálnunk a fárasztásnál megfigyelt ún. mátrixstruktúrát.

Irodalom

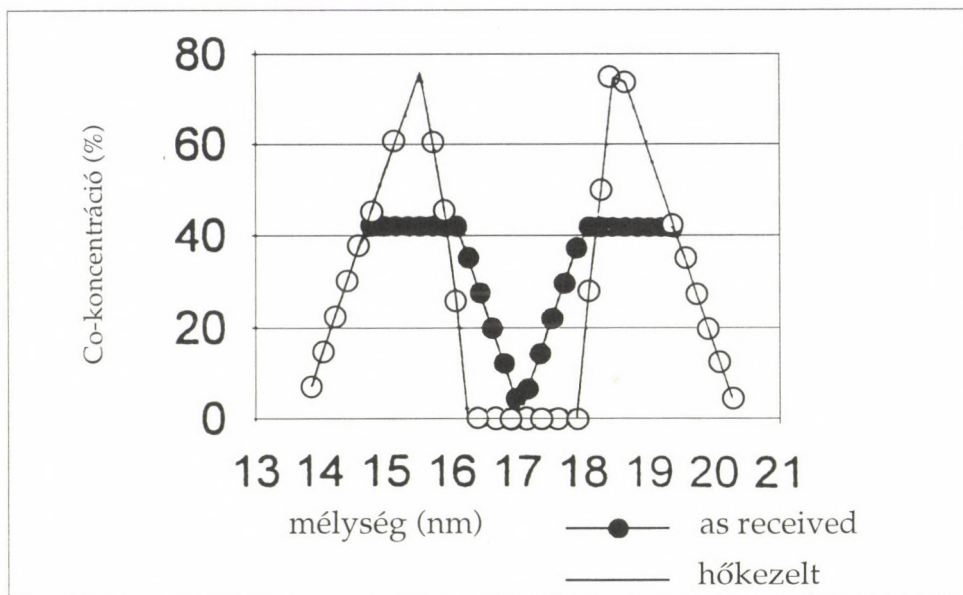
- [1] Groma, I., Pawley, G. S.: Role of the secondary slip system in a computer simulation model of the plastic behaviour of single crystals. *Mat. Sci. Eng.*, A164, (1993) 306.
- [2] Groma, I., Bakó, B.: Probability distribution of internal stresses in parallel straight dislocation system. *Phys. Rev.*, B 58, (1998) 2969.
- [3] Groma, I.: Link between the microscopic and mesoscopic length-scale description of the collective behavior of dislocations. *Phys. Rev.*, B 56, (1997) 5807.

Kis energiájú ionbombázás által indukált változások a felület közelében

A kis energiájú ionok és a felület kölcsönhatása mind alapkutatási, mind műszaki szempontból igen érdekes terület. Alapkutatási szempontból a folyamat rendkívül komplex, a felületi morfológia és az alatta lévő mátrix egyidejűleg és kölcsönhatásban változik, aminek leírása még alapszinten sem megoldott feladat. Műszaki szempontból azért kell a kérdéssel foglalkozni, mert a vékonyréteg-technológia igen változatos módon használja fel a kis energiájú ionokat; pl. kis energiájú ionokkal, célzott módon, meg lehet változtatni a vékonyréteg-szerkezetek tulajdonságait. A modern vékonyréteg-analízisben a kis energiájú ionoknak kitüntetett szerepe van. A korábbi MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetben Barna Árpád vezetésével indult el egy ionvékonyító berendezés tervezése és megvalósítása. E fejlesztés során a felületi roncsolódás tanulmányozásához Auger elektron-spektroszkópiát alkalmaztunk, és létrehoztunk egy Auger mélységi feltérképező berendezést.

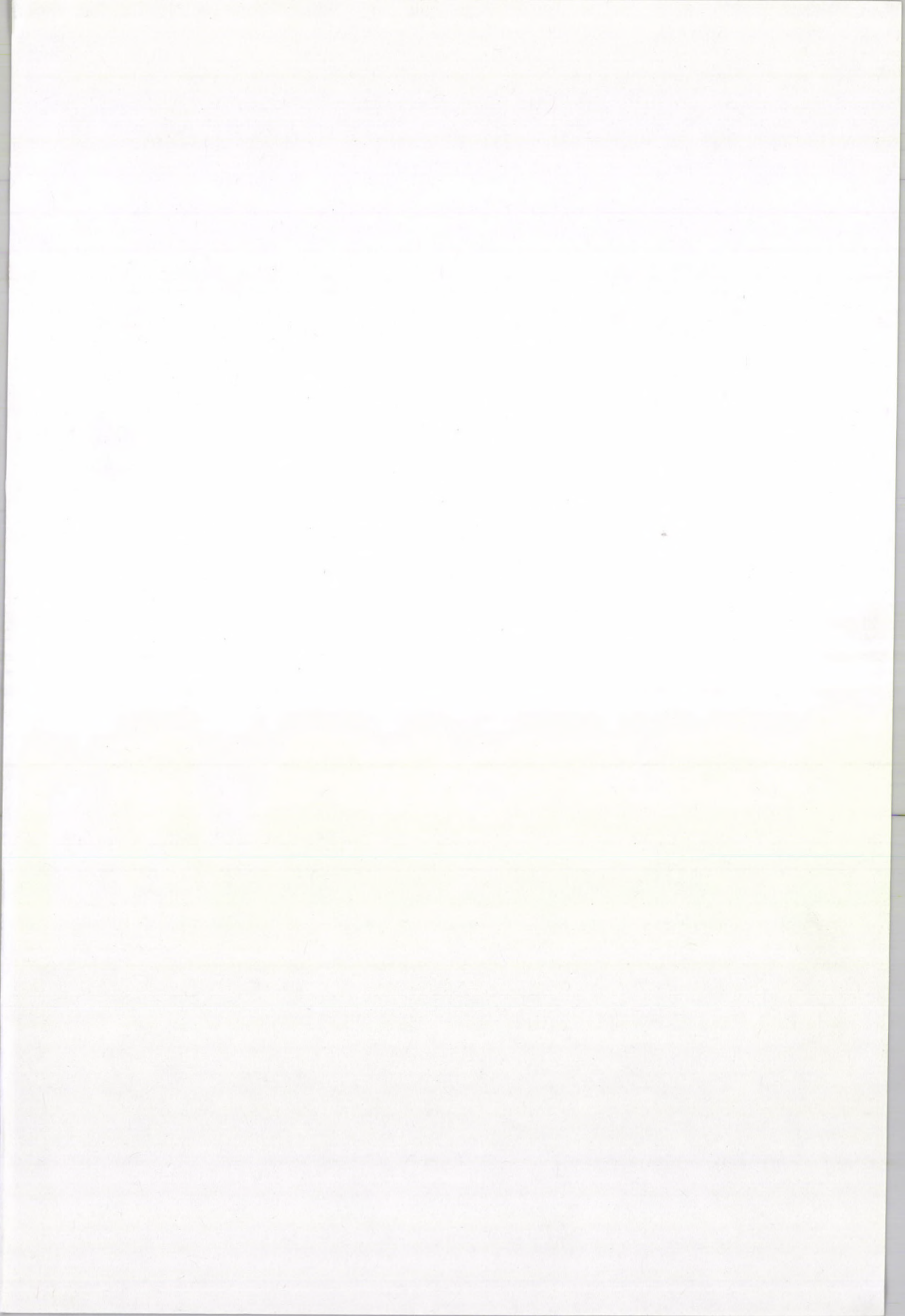
Az ionvékonyító és az Auger mélységi feltérképező berendezés párhuzamos fejlesztésével két olyan berendezés született, amelyek elkészültükkor a világon kapható legjobbak közé tartoztak. Megmutattuk, hogy a legjobb eredményt mindkét módszernél akkor érhetjük el, ha az ionokkal súrlódási irányból bombázunk, a lehető legkisebb energiával, és a mintát közben fogatjuk. Ilyen bombázás esetén a felületen mért magasságkorrelációs-függvény mutat ugyan némi fraktáltulajdonságot, de nem divergál, hanem 1 nm alatti értékkel korlátos. Azt is megmutattuk, hogy a minta roncsolódása a beesési szög koszinuszával csak 80° alatt arányos; nagyobb beesési szögnél a beesési szögtől nem függ. Auger mélységi feltérképezésnél az igen jó mélységi felbontásunkkal megmutattuk, hogy a mélységi felbontás szabványosításra is előkészített definíciója hibás, és mást javasoltunk. Kidolgoztunk egy új, TRIM-re alapozott kiértékelési módszert. Az Auger mélységi feltérképezés egyik műszakilag is fontos eredményét mutatjuk az 1. ábrán.

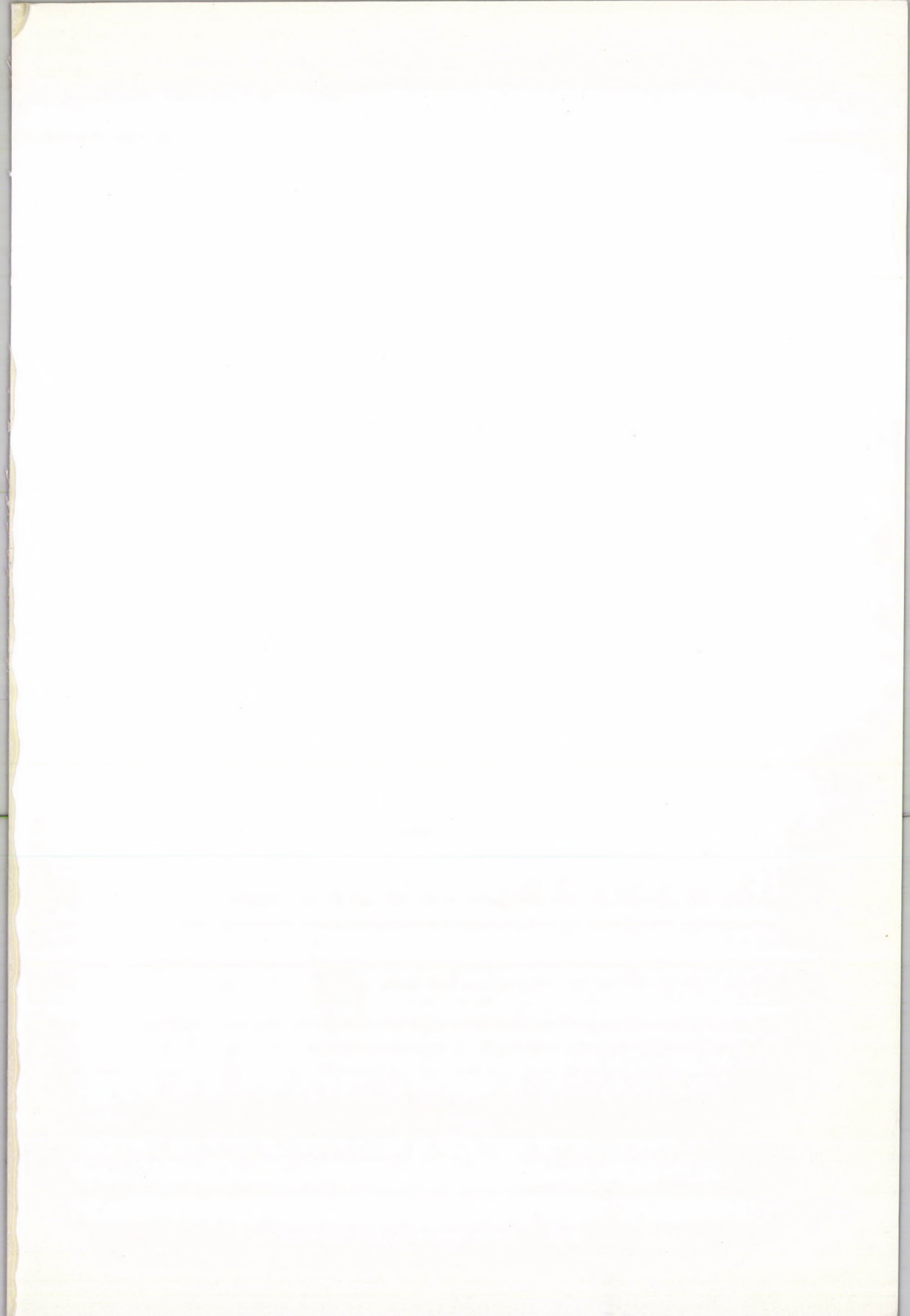
A már eszközökben is alkalmazott nagy mágneses ellenállású (spin valve) rétegekben az aktív tartományt egy 1 nm Co / 2,3 nm Cu / 1 nm Co réteg alkotja. Ezt a szerkezetet olcsó, porlasztási módszerrel hozzák létre. A porlasztás során az egyébként nem oldódó anyagpár keveredik, ami a réteg tulajdonságát rontja. Hő-



1. ábra

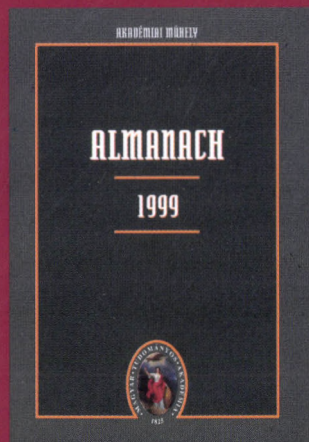
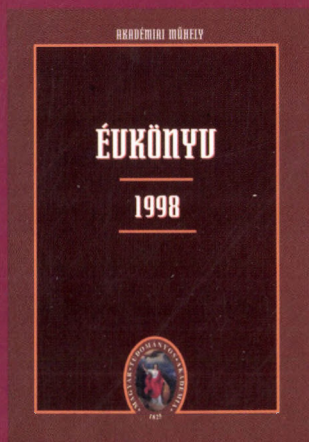
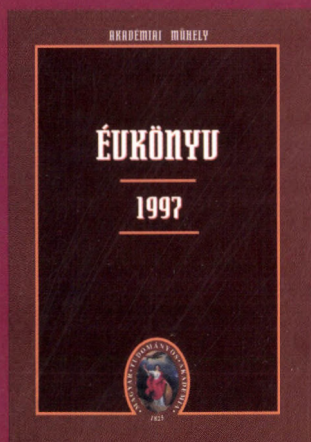
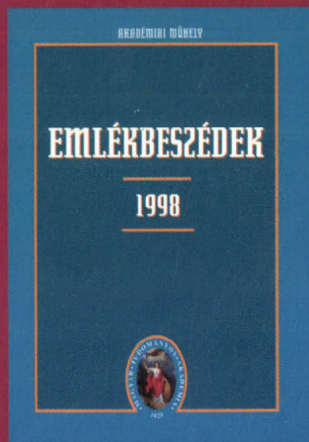
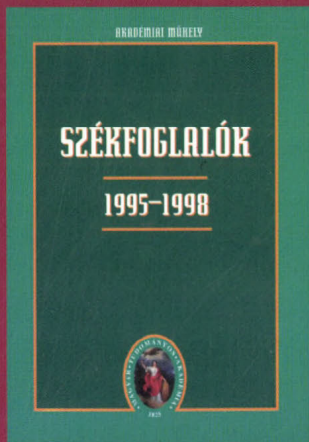
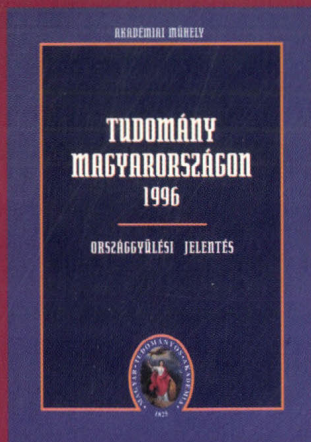
kezeléssel javíthatjuk a réteg szerkezetét. Az 1. ábrán a kobalt eloszláság mutatjuk hőkezelés előtt és után. Láthatjuk, hogy módszerünkkel kimutathatóak néhány angströmös átrendeződések.





AKADÉMIAI MŰHELY

1997-ben az Akadémia vezetése úgy döntött, hogy könyvsorozatot indít „Akadémiai Műhely” címmel, amelynek feladata, hogy segítse Akadémiánk működésének rendszerességét, és egyben szervezze is az akadémiai fórumokat. El akarjuk érni, hogy az akadémiai székfoglalókat írásban is készítsék el tagtársaink, ezért jelentetjük meg azokat 1998-tól rendszeresen (*Székfoglalók a Magyar Tudományos Akadémián*). Erősíteni akarjuk a tudótestület tradícióit mint bennünket összetartó erőt és a tudományban a folyamatosság fontosságára figyelmeztető tényezőt. Ezért újítottuk fel az 1949-ben megszakadt emlékbeszédek hagyományát az Akadémia elhunyt tagjairól. Gondoskodni kívánunk ezek kiadásáról (*Emlékbeszédek az MTA elhunyt tagjai felett*). Közreadjuk ezután a közgyűlések alkalmából elhangzott tudományos előadások szövegét (*Közgyűlési előadások*). Ezek mellett megindítjuk az Akadémia történelmében valahogy mindig elmaradt évkönyvsorozatot (*Az MTA Évkönyve*), és rendszeresen megjelentetjük az 1991-ben megszakadt, majd 1997-ben újraindított akadémiai almanachsorozatot (*Az MTA Almanachja*).



ISBN 963 508 155 3 0



9 789635 081554

I-II. kötet: 1600 Ft